



Hölttä Janne

Sekoitusjyrsinnän soveltuminen alempiasteisen tieverkon parantamistoimenpiteeksi

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 3.12.2012

Valvoja: Professori Terhi Pellinen

Ohjaaja: DI Katri Eskola, Liikennevirasto

Tekijä Janne Hölttä

Työn nimi Sekoitusjyrsinnän soveltuminen alempiasteisen tieverkon parantamistoimenpiteeksi

Laitos Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos

Professuuri Tietekniikka

Professuurikoodi Yhd-10

Työn valvoja professori Terhi Pellinen

Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t): DI Katri Eskola

Päivämäärä 3.12.2012

Sivumäärä 114+59

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Sekoitusjyrsintä on kevyt rakenteenparantamismenetelmä, jossa vanha rikkoutunut asfalttipäällyste jyrsitään ja sekoitetaan kantavan kerroksen kanssa ja tie uudelleenpäällystetään asfaltilla. Menetelmän tarkoituksena on homogenisoida ja vahvistaa tien kantavaa kerrosta. Lisämurskeen avulla voidaan myös parantaa kantavan kerroksen rakeisuutta ja lisätä kerrospaksuutta. Menetelmä on yleistynyt viime vuosina ja syrjäyttänyt stabiloinnit rakenteen parantamismenetelmänä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten hyvin sekoitusjyrsintä soveltuu rakenteen parantamismenetelmäksi. Tutkimuksessa selvitettiin 3-9 vuotta sitten toteutettujen sekoitusjyrsintäkohteiden rakenteellinen kunto käyttäen hyväksi Liikenneviraston kuntorekisteriä ja pinnan tämänhetkiset vauriot selvitettiin visuaalisten vaurioinventointien avulla. Kohteista otettiin rakennekerroksnäytteitä, joista selvitettiin kohteiden vaurioitumisen aiheuttaneita syitä.

Työssä tutkittiin lisäksi kesän 2012 aikana tehtyjä uusia sekoitusjyrsintäkohteita. Kohteista otettiin rakeisuusnäytteitä ennen ja jälkeen sekoitusjyrsinnän. Näytteistä määritettiin rakeisuus ja materiaalin lujuus Los Angeles-kokeella sekä vedenimeytyvyyttä tutkittiin imupainekokeiden avulla.

Kahdelle koekohteelle tehtiin pudotuspainomittauksia, joiden avulla määritettiin sekoitusjyrsinnän vaikutusta kantavuuden paranemiseen. Lisäksi samoille kohteille tehtiin maatutkaluotaukset, joiden avulla tarkastettiin sekoitusjyrsityn kerroksen paksuutta. Kerrosmateriaalien jäykkäysmoduuli määritettiin takaisinlaskennan avulla käyttäen hyväksi Kenlayer ohjelmaa.

Vaurioinventointien perusteella vanhat sekoitusjyrsityt kohteet olivat hyvässä kunnossa. Yleisesti ottaen kohteiden vaurioituminen oli hidasta, tosin liikennemäärät olivat alhaiset. Kohteissa oli yksittäisiä heikkoja kohtia, joihin olisi kannattanut lisätä esimerkiksi teräsverkko. Yleisin vaurionaiheuttaja oli tien heikko kuivatus, minkä vuoksi kantavan kerroksen vesipitoisuus nousi liian korkeaksi rakenteen kestäkykyyn nähden. Myös suuri hienoainespitoisuus ja tien liian ohuet rakennekerrokset lisäsivät rakenteen vaurioitumista.

Sekoitusjyrsitty materiaali täytti kantavalle kerrokselle asetetut laatuvaatimukset rakenteen lujuuden suhteen. Imupainekokeiden tuloksissa oli kuitenkin hajontaa ja vaikka suurin osa materiaaleista oli vedenimeytymisen perustella hyvää kantavan kerroksen materiaalia, ne näyttivät joissa oli korkea hienoainespitoisuus, myös imivät vettä enemmän kuin karkearakeisemmat näytteet. Sekoitusjyrsintä paransi maantiellä Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka tien kantavuutta keskimäärin 40 MPa, kun taas toisessa kohteessa kantavuus ei muuttunut. Sekoitusjyrsityn kerroksen toteutunut paksuus vaihteli noin ± 50 mm suunnitellusta jyrsintäsyvyydestä.

Avainsanat: sekoitusjyrsintä, asfalttirouhe, rakenteen parantaminen, stabilointi

Author Janne Hölttä

Title of thesis Assessment of Full Depth Reclamation method for rehabilitation of low volume roads

Department Department of Civil and Environmental Engineering

Professorship Highway engineering

Code of professorship Yhd-10

The supervisor Professor Terhi Pellinen

Thesis advisors / Thesis examiners: M.Sc. Katri Eskola

Date 3.12.2012

Number of pages 114+59

Language Finnish

Abstract

Full depth reclamation is a light reconstruction method, where the old asphalt pavement is milled and mixed with the base course layer. Road is then usually overlaid with soft asphalt layer. The method is designed to homogenize the base course layer. Crushed aggregate can be used to improve gradation of the base course layer and increase the layer thickness. The method has become more common in recent years and has replaced stabilization as reconstruction methods.

The aim of this study was to find out the suitability of the full depth reclamation for improving the road structure. The study examined the conditions and damages of old full depth reclamations projects using visual distress inventories. The condition information was available in the condition registry of the Finnish Transport Agency. Material samples were taken from the road in order to find out the reasons for the damages.

The thesis also studied new full depth reclamation projects constructed during the summer of 2012. Gradation samples were taken before and after full depth reclamation in order to find out how full depth reclamation affects the gradation of the base course layer. The strength of the material was determined by the Los Angeles-test. The Tube Suction test was used to assess the water absorption of the materials.

Falling Weight Deflectometer (FWD) measurements were made in two different projects in order to see how full depth reclamation affects the bearing capacity of the improved roads. A Ground penetrating radar measurements were used to investigate the depth of milling and layer thicknesses. Layer moduli of materials was obtained from backcalculation process using Kenlayer software.

The old full depth reclamation projects were in good condition. The damage development of the roads was slow. The roads had a few weak points which would have been better if some other reconstruction method was used, for example steel mesh. The most common reasons for damage were caused by poor drainage, high fines content and too thin layers of the structure.

With full depth reclamation, the required base course -strength material was reached. The Tube suction test results varied widely; most of the processed- material did not absorb water too much being good base course material, but in samples with higher fines content, the water absorption was more abundant. The full depth reclamation improved the bearing capacity of the road (Mt 2846) as an average of 40 MPa while in other roads bearing capacity improvement was more modest. The Full depth reclamation the actual layer thickness varied ± 50 mm of the planned milling depth.

Keywords: Full-depth Reclamation, Mechanical Stabilization, Reconstruction, RAP

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulun liikenne- ja tietekniikan tutkimusryhmässä. Diplomityön tilaaja oli Liikennevirasto.

Diplomityön ohjaajana toimi diplomi-insinööri Katri Eskola Liikennevirastosta. Lisäksi diplomityön ohjausryhmään kuuluivat Taina Rantanen SITO Oy:stä sekä Antti Nissinen ja Anna-Kaisa Kärjä Andament Oy:stä. Työn valvojana toimi professori Terhi Pellinen Aalto-yliopistosta. Kiitos kaikille hyvistä ideoista ja rakentavasta palautteesta.

Lämmin kiitos kaikille työn tekemiseen osallistuneille tahoille. Kiitos kaikille työmaalla toimineille urakoitsijoille ja näytteidenottajille. Kiitos Uudenmaan ELY -keskuksen Tuomas Vasamalle kohteiden suunnitelmista ja aikatauluista. Kiitos myös West Coast Road Masters Oy:n Juha Vainiolle pudotuspainolaitemittauksista ja RC-Infra Oy:n Vesa Vainiolle maatutkaluotauksista.

Erityiskiitos Aalto-yliopiston tietekniikan tutkimusryhmälle ja TkT Jarkko Valtoselle. Sain työn tekemiseen paljon arvokasta apua, jota ilman en olisi tullut toimeen. Kiitos myös muille diplomityöntekijöille hyvästä tuesta, työilmapiiristä ja iloisista kahvitauoista.

Kiitokset perheelleni ja ystävilleni kannustamisesta, tukemisesta ja kärsivällisyydestä opintojeni aikana.

Espoo 3.12.2012

Janne Hölttä

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	4
Lyhenteet ja käsitteet	6
1 Johdanto	10
1.1 Tutkimuksen tausta	10
1.2 Tutkimusongelma	12
1.3 Tutkimuksen tavoite	13
1.4 Tutkimuksen raja	13
2 Kirjallisuusselvitys	14
2.1 Sekoitussyrsinnän menetelmäkuvaus	14
2.2 Sekoitussyrsityn materiaalin ominaisuudet ja soveltuminen kantavaan kerrokseen	20
2.2.1 Sitomattoman kantavan kerroksen materiaalivaatimukset	21
2.2.2 Kiviaines	24
2.2.3 Asfalttirouhe ja sekoitussyrsitty materiaali	28
2.3 Rakenteen parantamisen ja sekoitussyrsinnän suunnittelu	36
2.3.1 Rakenteen parantaminen	37
2.4 Muut kevyet rakenteen parantamistoimenpiteet	40
2.5 Tien kunto ja vaurioituminen	44
3 Tutkimusmenetelmät	57
3.1 Kenttäkokeet ja koekohteet	57
3.1.1 Vaurioinventointi	62
3.1.2 Pudotuspainolaitemittaukset	63
3.1.3 Maatutkaluotaus	65
3.1.4 Näytteenotto	66
3.2 Laboratoriokokeet	68
3.2.1 Rakeisuuden ja sideainepitoisuuden määrittäminen	68
3.2.2 Vedenimeytymisominaisuudet	68
3.2.3 Lujuus	70
3.3 Muut menetelmät	71
3.3.1 Jäykkyysmoduulin määrittäminen	71
3.3.2 Tieräkisteri, kuntorekisteri ja PTM- mittaukset	74
4 Tutkimustulokset	75
4.1 Vaurioituminen ja kunto	75
4.2 Vöyrin koekohteet	80
4.3 Kantavuus	82
4.4 Kantavan kerroksen rakeisuus	83
4.5 Jyrsintäsyvyys	87
4.6 Lujuus	88
4.7 Vedenimeytyminen	89
4.8 Jäykkyysmoduuli	90
5 Tutkimustulosten tarkastelu	92
5.1 Vaurioituminen ja kunto	92
5.2 Vöyrin koekohteet	93
5.3 Kantavuus	93
5.4 Maatutkaluotaus ja jyrsintäsyvyys	96
5.5 Materiaaliominaisuudet	97
5.6 Kantavan kerroksen rakeisuus	99
5.7 Lisämurskeen eri levitystapojen vertailu	102
5.8 Sekoitussyrsinnän tasalaatuisuus	103
5.9 Yleisiä huomioita sekoitussyrsinnän tutkimisesta	104
5.10 Virhetarkastelu	104

6	Yhteenveto, päätelmät ja suositukset	106
6.1	Sekoitusjyrsintä.....	106
6.2	Menetelmän soveltuminen rakenteen parantamistoimenpiteeksi.....	107
6.3	Suunnittelussa huomioon otettavat asiat	107
6.4	Materiaaliominaisuudet.....	110
6.5	Erot muihin rakenteen parantamismenetelmiin	111
6.6	Jatkotutkimustarve	112
6.7	Suositukset	113
	Lähteluettelo.....	115
	Liiteluettelo	123

Lyhenteet ja käsitteet

AB	Asfalttibetoni; käytetään kulutuskerroksen materiaalina päällystetyillä liikennealueilla
ABK	Kantavan kerroksen asfalttibetoni
ABS	Sidekerroksen asfalttibetonia käytetään kulutuskerroksen ja kantavan kerroksen välisenä materiaalina
%ACP	Percent Asphalt Coated Particles, Asfaltilla päällystettyjen kappaleiden osuus asfalttirouheesta, jossa bitumi peittää yli kolmasosan
APVM	Automaattinen päällystevauriomittaus tien vaurioitumisen mittaamiseen käytettävä automaattinen menetelmä, jota on käytetty 2006 vuodesta alkaen
BCI	Base Curvature Index; taipumaparametri, joka kuvaa tien kykyä jakaa kuormitusta heikon pohjamaan päällä
BEST	Bitumiemulsiostabilointi; Bitumistabilointi, jossa sideaineena käytettävä bitumi lisätään emulgoituna
BST	Bitumistabilointi; Stabilointimenetelmä, jossa sideaineena käytetään bitumia
CBR	California Bearing Ratio
CIR	Cold-In-Place Recycling; Asfaltin kierrätysmenetelmä, jossa asfaltti jyrsitään kylmänä ja sekaan lisätään bitumiemulsiota
DRI	Dynaaminen rasitusindeksi; kuvaa raskaan liikenteen aiheuttamia rasituksia tierakenteelle
ELY -keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
FDR	Full-depth Reclamation; Sekoitusjyrshintää vastaava rakenteen parantamismenetelmä Pohjois-Amerikassa
FEM	Finite Element Method (Elementtimenetelmä); Takaisinlaskennassa käytettävä mallinnusmenetelmä
FWD	Falling weight deflectometer, pudotuspainolaite (PPL); Tien rakenteen ja eri kerrosten materiaalien käyttäytymistä liikenteen kuormituksen alaisena simuloidaan pudotuspainolaitteella avulla ja tien pinnan pystysuora taipuma mitataan
GPS	Global Positioning System; Satelliittipaikannusjärjestelmä

HIR	Hot-In-Place Recycling; Päällysteen kierrätysmenetelmä, jossa vanha päällyste kuumennetaan ja sekaan lisätään uutta kiviainesta ja sideainetta
IRI	Kansainvälinen tasaisuusindeksi, International Roughness Index; kuvaa tien pituussuuntaista epätasaisuutta aallonpituudella, minkä autoilija kokee epämukavaksi
KaM	Kalliomurske on kiviainesta, mikä on valmistettu murskaamalla kalliosta räjäytettyä louhetta ja seulomalla siitä haluttu lajite
KAB	Kevyt asfalttibetoni
KKL	Kuormituskertaluku; kuvaa liikenteen aiheuttamaa rasitusta standardiakselin ylityskertojen lukumäärällä
KOST	Komposiittistabilointi; Stabilointimenetelmä, jossa sideaineena käytetään bitumia ja hydraulista sideainetta
KURRE	Kuntorekisteri; Liikenneviraston rekisteriä tien kuntomuuttujille
KVL	Keskivuorokausiliikenne; Liikennemäärän yksikkö, joka kertoo tien tai kadun ajoneuvojen lukumäärän vuorokauden aikana
MHST	Masuunihiekkastabilointi; Stabilointimenetelmä, jossa sideaineena käytetään terästeollisuuden sivutuotetta masuunihiekkaa
MHST-A	Masuunihiekkastabilointi, jossa aktivaattorina käytetään sementtiä
Mt	Maantie; Valtion omistama ja ELY -keskuksen ylläpitämä tie
MV	Massanvaihto; Rakenteen parantamismenetelmä, jossa huonosti kantava tai routiva rakennekerros korvataan kantavalla materiaalilla
PAB-B	Pehmeä asfalttibetoni, jossa sideaine luokiteltu tunkeuman mukaan
PAB-V	Pehmeä asfalttibetoni, jossa sideaine luokiteltu viskositeetin mukaan
PANK	Päällystealan neuvottelukunta

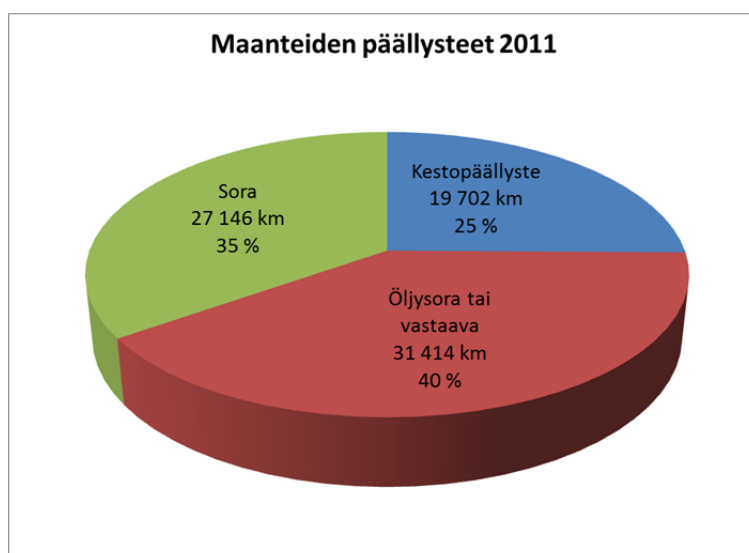
PETA	Poikittainen epätasaisuus; kuntomuuttuja, mikä kuvaa tien poikkisuuntaista epätasaisuutta. Käytetään vähäliikenteisillä teillä
PI	Pituusprofiilin poikkeamaindeksi; kuntomuuttuja, joka kuvaa pituussuuntaisen tasaisuuden vaihteluja
PPL	Pudotuspainolaite; Tien rakenteen ja materiaalin tutkimiseen käytettävä laite, jolla simuloidaan liikenteen aiheuttama kuormitus ja mitataan sen aiheuttama tien pinnan taipuma
Pt	Paikallistie
PTM	Palvelutasomittaus; Tien kunnon mittausmenetelmä, jossa mitataan laseranturin, pystykiihtyvyyssanturin ja ultraäänianturin avulla tien pituus- ja poikkisuuntaisia kuntomuuttujia
PVI	Päällystevaurioinventointi
PVK	Päällystevauriokartoitus; Päällysteen vaurioinventointimenetelmä, jossa päällysteen vauriot inventoidaan visuaalisesti ajoneuvosta tarkkailemalla
RAP	Reclaimed asphalt Pavement, asfalttirouhe
REST	Remix -stabilointi; Remix-menetelmällä tehty bitumistabilointi
SCI	Surface Curvature Index; taipumaparametri joka kuvaa päällysrakenteen yläosan kantavuutta
SJYR	Sekoitusjyrsintä; Rakenteen parantamismenetelmä, jossa vanha päällyste jyrsitään ja sekoitetaan kantavan kerroksen kanssa
SMA	Kivimastikiasfaltti; asfalttipäällyste
SOP	Soratien pintausta; Sitomattomalle alustalle bitumilla liimattu ohut murskekerros
SST	Sementtistabilointi; stabilointi, jossa sideaineena käytetään sementtiä
TAS	Tasaus
TS	Tube Suction test, imupainekoe; koe, jossa mitataan maan ja kiviaineksen dielektrisyys ja sähkönjohtavuus
VBST	Vaahdotbitumistabilointi; bitumistabilointi, jossa sideaineena käytetään vaahdotettua bitumia

VO	Vaurio-osuus; Automaattisen vauriokartoituksen tunnusluku, joka kuvaa vaurioituneen päällysteen osuutta
VS	Vauriosumma; sadan metrin pituiselle tieosuudelle vaurioiden vakavuuden perusteella painotettu tien vaurioitumista kuvaava muuttuja
VSt	Tienkäyttäjän vauriosumma; ajomukavuuteen vaikuttavia vaurioita enemmän painottava vauriosumma

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Tutkimuksessa tarkastellaan sekoitusjyrsinnän soveltumista kevyeksi rakenteen parantamistoimenpiteeksi alempiasteiselle päällystetylle tieverkolle. Alempiasteinen tieverkko sisältää seutu- ja yhdysteitä, joita on yhteensä noin 64 800 km eli noin 83 % yleisistä teistä. Vähäliikenteisiä teitä on noin 44 % yleisistä teistä. (Tiehallinto 2003c) Tässä tutkimuksessa vähäliikenteisiksi teiksi luokitellaan kaikki tiet, joiden liikennemäärä on alle 1500 ajoneuvoa vuorokaudessa. Seutu- ja yhdystieverkolla on keskeinen merkitys haja-asutusalueiden elinvoimaisuudelle ja kehittymiselle. Haja-asutusalueiden pysyvä asutus, maatalouden kuljetukset ja metsäteollisuuden puuraaka-ainekuljetukset toimivat alempiasteisen tieverkon varassa. (Tiehallinto 2005a.)



Kuva 1. Maanteiden päällysteet 2011 (Liikennevirasto 2011a)

Pääpaino yleisen tieverkon tienpidossa on ollut pitkään päätieverkossa ja sen kehittämisessä. Tienpidon rahoituksen pienentyessä on pyritty turvaamaan päätieverkon rahoitus, jolloin alempiasteisen tieverkon rahoitus on pienentynyt suhteessa enemmän kuin päätieverkon. Alemman tieverkon kunto on heikentynyt selvästi etenkin yhdysteillä. (Tiehallinto 2003c.)

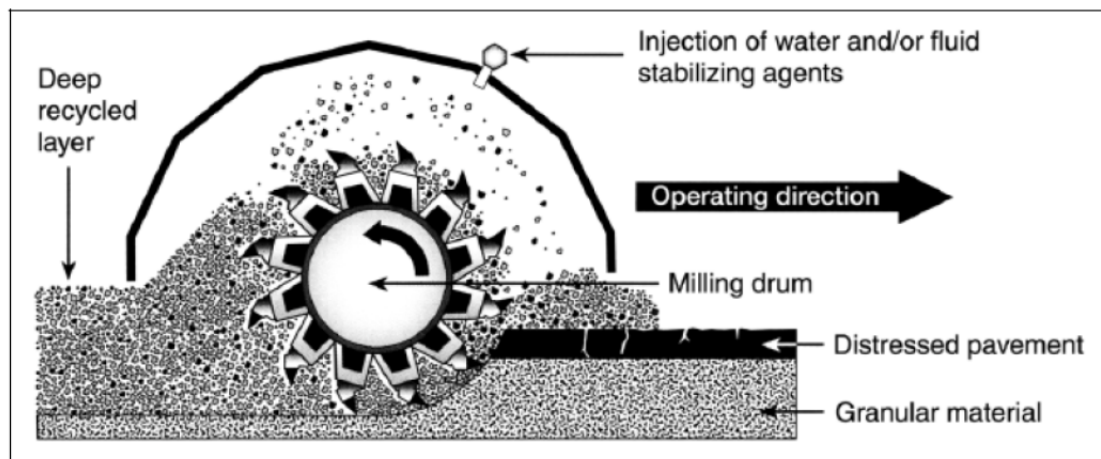
Alemman tieverkon ongelmana on teiden huonokuntoisuus, mikä ilmenee mm. kanta-vuuspuutteina, kelirikkoisuutena, huonokuntoisina siltoina ja huonoina päällysteinä. Alempiasteisen tieverkon geometria on usein puutteellinen. (Tiehallinto 2003c.)

Vähäliikenteiset päällystetyt tiet ovat yleensä kapeita ja mutkaisia, luiskat saattavat olla jyrkkiä ja kuivatuksessa esiintyy usein puutteita. Vähäliikenteiset päällystetyt tiet ovat usein rakentamattomia, jolloin tien rakenneerrokset ovat puutteelliset. Tien leventämi-

nen on saattanut aiheuttaa poikkileikkaukseltaan epähomogeenisen rakenteen, jos ainoastaan tien reunalle on lisätty materiaalia. Tien parantamisen yhteydessä on voitu lisätä sitomatonta materiaalia vanhan päällystekerroksen päälle, jolloin rakenne vaurioituu nopeasti. Parantamistoimenpiteitä hankaloittaa tiealueen kapeus, jolloin luiskien loiventaminen ja tasausviivan nosto vaikeutuvat. Vähäliikenteisen tien rakenne toimii ja vaurioituu eri tavoin kuin rakennettujen teiden, koska päällysteen paksuus on pieni ja routimattomien rakennekerrosten paksuudet ovat ohuet. (Tiehallinto 2005a.)

Alempiasteisen tieverkon kunnostaminen pyritään toteuttamaan mahdollisimman vähin kustannuksin, mikä rajoittaa eri kunnostustoimenpiteiden käyttöä ja tien lähtötietojen hankintaa. Tavallisimmat päällysteiden ylläpitotoimenpiteet ovat uudelleen päällystämisen tai rakenteen parantaminen. Rakenteen parantamistoimenpiteenä käytetään yleensä sekoitusjyrsintää tai bitumistabilointia. (Tiehallinto 2005a.) PAB-V -päällysteen uusiminen maksaa noin 19 000 €/km ja rakenteen parantaminen noin 33 000 €/km. (Tiehallinto 2006.)

Sekoitusjyrsintä on kevyt rakenteen parantamistoimenpide, jossa vanha asfalttipäällyste ja kantava kerros jyrsitään ja sekoitetaan uudeksi rakennekerrokseksi (kuva 2). Jyrsitty ja sekoitettu kerros tiivistetään ja muotoillaan, minkä jälkeen se päällystetään. Sekoitusjyrsintä ei ole stabilointimenetelmä, koska siinä ei lisätä uutta sideainetta. Kantavan kerroksen rakeisuutta voidaan parantaa lisämurskeen tai sepelin avulla. (Tiehallinto 2007f.)

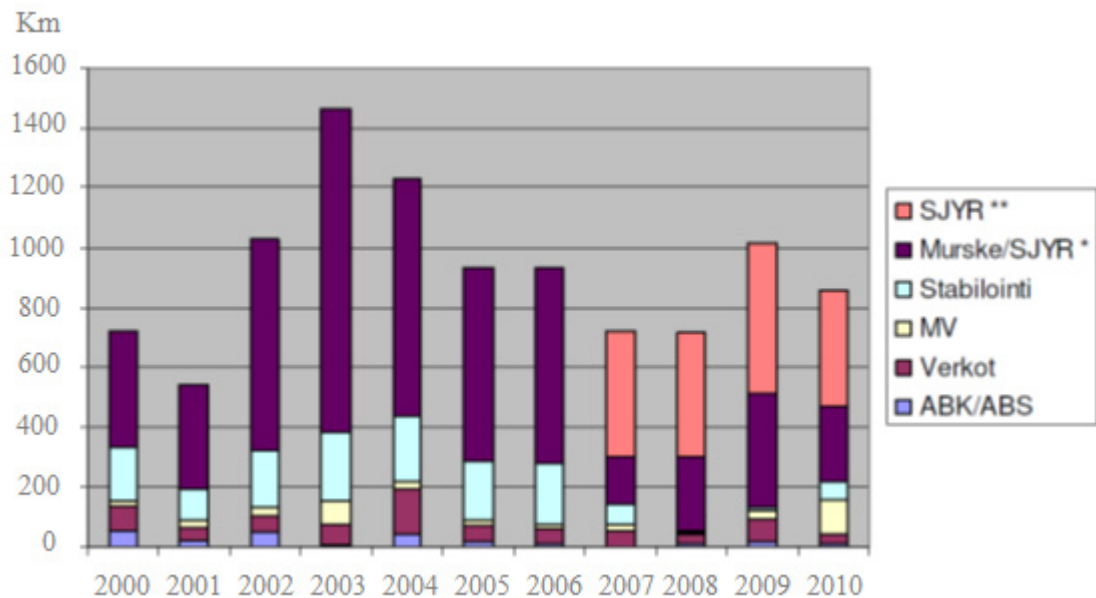


Kuva 2. Sekoitusjyrsinnän toimintaperiaate. (Mohamed 2009)

Sekoitusjyrsintää on tehty Suomessa 1990 -luvun alusta lähtien. Ensimmäinen sekoitusjyrsintä tehtiin Keski- Pohjanmaalla. Kohde oli suunniteltu bitumistabiloinniksi, johon ei kuitenkaan vähäisen rahoituksen takia lisätty sideainetta. Menetelmän todettiin olevan hyvä, minkä jälkeen sekoitusjyrsintä on yleistynyt rakenteen parantamistoimenpiteenä. (Salminen 2007.) Sekoitusjyrsintää vastaavia menetelmiä on käytetty rakenteen parantamistoimenpiteenä ainakin Pohjois-Amerikassa ja Ruotsissa. Pohjois-Amerikassa se-

koitusjyrsintää on kehitetty lisäämään asfaltin uusiokäyttöä ja vähentämään vanhasta päällysteestä aiheutuvia jäteongelmia. (Cooley 2005.)

Sekoitusjyrsintämenetelmä on viime vuosina syrjäyttänyt stabiloinnit rakenteen parantamiskohteissa. Sekoitusjyrsinnän yleistymiseen ovat vaikuttaneet sen alhaisemmat rakentamiskustannukset, jotka johtuvat rakennusmateriaalien ja niiden kuljetusten vähäisestä tarpeesta. (Tiehallinto 2007f.)



*) Vuoteen 2006 asti murskeenlisäys ja sekoitusjyrsintä tilastoitiin yhdessä.

**) Vuodesta 2007 asti sekoitusjyrsintä on tilastoitu omana toimenpiteenä.

Kuva 3. Päällystyksen yhteydessä tehdyt rakenteen parantamistoimenpiteet maanteillä. (Nordiskt vägforum 2011)

1.2 Tutkimusongelma

Sekoitusjyrsitty materiaali eroaa sitomattomasta kantavan kerroksen materiaalista sen sisältämän asfalttirouheen ja bitumin takia. Sekoitusjyrsintä poikkeaa myös bitumilla sidotusta kantavasta kerroksesta, koska bitumia on melko vähän stabilointiin verrattuna. Sekoitusjyrsintä on yleistynyt viime vuosina ja siitä on hyviä kokemuksia, vaikka sitä ei ole juurikaan tutkittu. Sekoitusjyrsityn kerroksen toimintaa kantavan kerroksen materiaalina ei ole tutkittu. Sekoitusjyrsinnän vaikutuksia tien kantavuuteen ei ole mitattu ja materiaalin jäykkyydestä on olemassa ristiriitaisia tietoja, jotka perustuvat urakoitsijoiden kokemuksiin. Asfalttirouheen soveltumista kantavan kerroksen materiaaliksi on tutkittu paljon Yhdysvalloissa, mutta tutkimustulokset eivät ole suoraan verrannollisia suomalaisen sekoitusjyrsintämateriaaliin. Sekoitusjyrsityn materiaalin ominaisuuksiin vaikuttavat asfalttirouhepitoisuus ja rouheen ominaisuudet, materiaalien rakeisuudet, vesipitoisuus ja tiiveysaste.

Sekoitusjyrsinnästä ei ole olemassa omia suunnitteluohjeita vaan suunnittelussa käytetään apuna esimerkiksi Tiehallinnon stabilointiohjetta tai rakenteen parantamisen suunnitteluohjetta. Tiehallinnon Päälysrakenteen stabilointiohjeessa on sekoitusjyrsinnälle määritetty seuraavat ohjeet ja vaatimukset (Tiehallinto 2007f):

- Jyrsityn kerroksen suurin yksittäinen rouherae ei saa olla yli 50 mm
- Sekoitusjyrsityn kerroksen tiiveysvaatimus on 95 % koejyräyksen perusteella määritetystä maksimitiiveydestä.
- Jyrsintäsyvyys määritetään kalibroidulla jyrsintäsyvyysmittarilla ja merkitään työmaan laaturaporttiin.
- Sekoitusjyrsitystä massasta otetuista näytteistä tutkitaan rakeisuus ja sideainepitoisuus.

Sekoitusjyrsintöjen vaurioitumista ja kestoikää on tutkittu vähän. Anne Salminen on tehnyt opinnäytetyön vuonna 2007, jossa todettiin sekoitusjyrsintöjen vaurioitumisen olevan Oulun seudun kohteissa vähäistä. (Salminen 2007)

1.3 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sekoitusjyrsinnän soveltuminen vähäliikenteisten päällystettyjen teiden parantamistoimenpiteeksi. Työssä tutkittiin sekoitusjyrsittyjen teiden kuntoa, vaurioitumista ja kestoikää. Vaurioista tutkittiin tarkemmin niiden aiheutumiseen vaikuttaneet syyt.

Diplomityön tarkoituksena oli luoda edellytykset sekoitusjyrsintöjen suunnitteluohjeiden laatimiselle. Työssä tutkittiin, mitä eri asioita sekoitusjyrsinnän suunnittelussa on otettava huomioon. Työssä tutkittiin eri jyrsintäsyvyyksien, lisämurskeen rakeisuuden ja kerrospaksuuksien vaikutuksia kantavan kerroksen ominaisuuksiin.

Sekoitusjyrsinnästä tutkittiin sen vaikutuksia kantavan kerroksen rakeisuuteen ja kantavuuteen. Työssä haluttiin selvittää paras mahdollinen lisämurskeen rakeisuus ja missä vaiheessa lisämurske kannattaisi lisätä. Työssä selvitettiin myös sekoitusjyrsityn materiaalin soveltumista kantavan kerroksen materiaaliksi laboratoriokokeiden avulla. Eri rouhepitoisuuksilla määritettiin materiaalin lujuus- ja vedenimeytymisominaisuudet.

1.4 Tutkimuksen rajaus

Työssä keskityttiin tutkimaan sekoitusjyrsintää, jota käytetään vähäliikenteisten päällystettyjen teiden rakenteenparantamiseen. Työssä ei tutkittu sekoitusjyrsinnän käyttämistä sorateiden kunnostamiseen. Sekoitusjyrsitystä materiaalista ei määritetty rakeiden murtopintaisuutta eikä rapautumisherkkyttä. Sekoitusjyrsityn kerroksen päälle tehtävän asfalttipäällysteen valintaan vaikuttavia syitä ei tutkittu.

2 Kirjallisuusselvitys

2.1 Sekoitusjyrsinnän menetelmäkuvaus

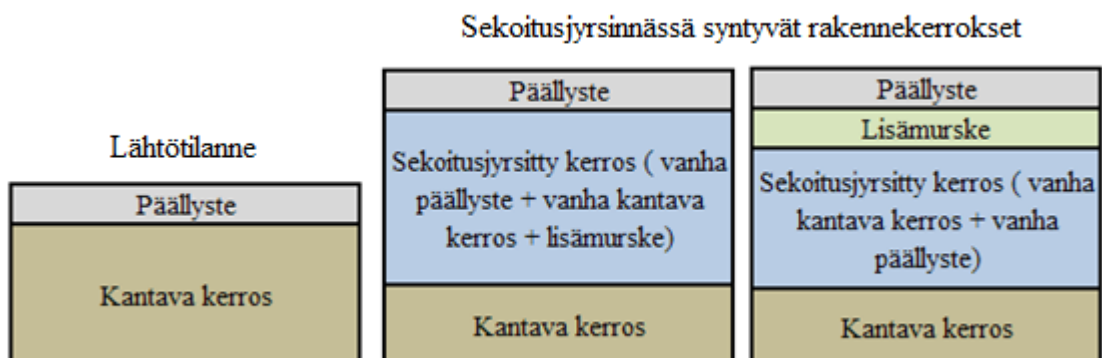
Sekoitusjyrsintä on paikallasekoitusmenetelmä, jota käytetään päällysrakenteessa olevien materiaalien homogenisointiin ilman sideaineen lisäämistä. Sekoitusjyrsinnän lopputulokseen vaikuttavat paljon käytettävän kohteen materiaalien laatu ja rakeisuus. (Tiehallinto 2007f.)

Sekoitusjyrsintä on tien ylläpitomenetelmä, jolla tien kuntoa ja muotoa parannetaan. Menetelmä soveltuu hyvin kohteisiin joissa:

- Tien kantavuus on riittävän hyvä.
- Vanha päällyste on liian rikkoutunut pelkkää uudelleen päällystämistä varten.
- Tien rakennekerrokset ovat puutteelliset (suuri hienoainespitoisuus, ohuet rakennekerrokset)
- Tien poikkiprofiili on huono (reunapainumat, urautuminen, suuri sivukaltevuus, keskiharjanteen korkeus on suuri).
- Päällysteen alla on sitomaton kantavan kerroksen materiaali, mikä on hienontunut ja sitoo vettä.

Lisämurskeen lisääminen

Kantavan kerroksen paksuutta ja rakeisuutta voidaan parantaa lisämurskeen tai sepelin avulla. Lisämurske lisätään yleensä ennen sekoitusjyrsintää päällysteen päälle, jolloin murske sekoittuu jyrsinnässä kantavan kerroksen ja asfalttirouheen kanssa uudeksi kantavaksi kerrokseksi. Lisämurske voidaan lisätä myös sekoitusjyrsinnän jälkeen omana kerroksenaan sekoitusjyrsityn kerroksen päälle, jolloin lisämurske ei paranna vanhan kantavan kerroksen rakeisuutta (kuva 4).



Kuva 4. Sekoitusjyrsinnässä syntyvät uudet rakennekerrokset. Lisämurske voidaan lisätä ennen tai jälkeen sekoitusjyrsinnän.

Lisämurske on joko kallio- tai soramursketta, jonka rakeisuus on yleensä 0/32. Rakeisuutta voidaan parantaa myös sepelin avulla, jolloin hienoaineksen määrä ei lisäännä. Andament Oy:n Antti Nissisen mielestä ennen sekoitusjyrsintää levitettävän lisämurskeen rakeisuuden tulisi olla 0/45 tai 0/56 -mursketta ja sekoitusjyrsinnän jälkeen levitetävän 0/32 -mursketta. Nissinen pitää lisämurskeen levittämistä ennen sekoitusjyrsintää suositeltavampana menetelmänä. Lisämurskeen kerrospaksuus on yleensä 50 -150 mm. Reunapainumien kohdalla mursketta voidaan lisätä paikoin paksumpia kerroksia. Ulkomailla käytetään sekoitusjyrsinnässä myös asfalttimursketta ja murskattua betonia parantamaan rakeisuutta ja lisäämään rakennekerrosten paksuutta (Cooley 2005).

Lisämurske voidaan levittää murskeenlevittimellä, joka on esimerkiksi pyöräkuormaimeen kiinnitettävä materiaalin levitin. Levitystyössä kuorma-auto purkaa pyöräkuormaimen liikkuaessa materiaalin levittimeen samalla kun pyöräkuormaimen työntää levitintä eteenpäin. Tuloksena on tasapaksu lisämurskekerros, joka tiivistetään jyrellä ja muotoillaan tiehöylällä. Lisämursketta voidaan levittää myös esimerkiksi tiehöylällä. (Tiehallinto 2004b.)



Kuva 5. Lisämurskeen levittäminen, Mt 2846 Lautaporras- Sillantaka.

Jyrsintä

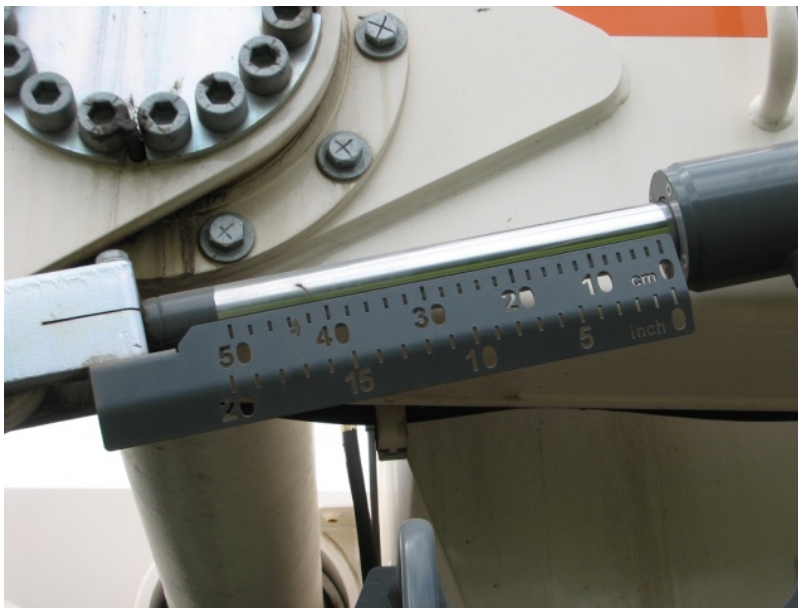
Sekoitusjyrsintä tehdään stabilointijyrsimellä tai muulla sekoitukseen yleisesti hyväksytyllä ja vastaavat sekoitusominaisuudet omaavalla jyrsimellä. Käytettävän jyrsimen pitää pystyä rikkomaan päällyste riittävän pieneksi. Sekoitusjyrsinnässä käytettävän asfalttirouheen maksimiraekoko saa olla korkeintaan 50 mm, lisäksi materiaalin tulee purkautua jyrsintärummista tasaisena kerroksena. Materiaali ei saa lajittua jyrsinnän aikana. (Andament Oy 2006) Jyrsintäsyvyys vaihtelee 100-400 mm välillä. Yleisin jyrsintäsyvyys on 150-250 mm. Mitä suurempi jyrsintäsyvyys on, sitä hitaammin jyrsintä etenee. Jyrsintäsyvyyden kasvaessa vaikeutuu jyrsityn kerroksen tiivistämistyö. Syviä sekoitusjyrsintöjä käytetään yleensä vain kohteissa, joissa halutaan rikkoa ohuen murskekerroksen alle jätetty päällyste tai päällysteen paksuus on suuri. (Tiehallinto 2007f.)



Kuva 6. Sekoitusjyrsinnässä käytettävä kalusto.

Sekoitusjyrsinnän syvyyttä säädellään kalibroidulla jyrsintäsyvyysmittarilla (Tiehallinto 2007f). Jyrsimessä on automaattinen tasausjärjestelmä, joka koostuu kahdesta toisistaan riippumattomasta valvontasilmukasta. Järjestelmä on yhdistetty sähköhydraulisen syvyyssäädön kanssa. Suunniteltu jyrsintäsyvyys ja todellinen jyrsintäsyvyys merkitään digitaaliseen ohjausjärjestelmään. Järjestelmä on helppokäyttöinen ja erittäin tarkka. (Wirtgen 2006.)

Asfaltti jyrsitään pyörivässä jyrsintärummussa, jossa on metalliset piikit (kuva 8). Jyrsinnän teho riippuu piikkijärjestelyistä ja sekoittimen roottorin halkaisijasta. Piikkejä pitää olla vähintään 60 kpl/m. Tehoon vaikuttavat myös sekoitusjyrsimen työnopeus ja rummun pyörimisnopeus. Jyrsintään käytettävän jyrsimen painon on oltava riittävä, suunnilleen 20 tonnia, tasaisen jyrsintäsyvyyden varmistamiseksi. (Tiehallinto 2007f.)



Kuva 7. Jyrsintäsyvyyden säätö.

Jyrsimen rummun pitää sekoittaa tieltä nostettava materiaali riittävän hyvin, jotta tieltä otettavat näytteet ovat homogeenisia laatuvaatimusten mukaan (Andament Oy 2006). Jyrsimessä olevan takaportin pitää olla asetettuna niin, ettei lajittumista tapahdu. Jyrsimessä pitää olla riittävästi tehoa, jotta tierungon kiinteimmät kohdat eivät hidasta työnopeutta eikä jyräsyvyyttä tarvitse työn aikana muuttaa. Sekoitusjyrsinnän/stabilointijyrsinnän keskimääräinen työsaavutus on noin 1000 m² tunnissa. (Tiehallinto 2007f)



Kuva 8. Jyrsinrumpu ja metallipiikit. (Wirtgen 2006)

Muotoilu ja tiivistäminen

Sekoitusjyrsitty materiaali kastellaan optimikosteuteen ennen muotoilua. Pinta muotoillaan tieluokan vaatimusten mukaiseen tasaisuuteen, muotoon ja tasoon tiehöylän avulla. Tien sivukaltevuutta on mahdollista muuttaa tässä vaiheessa, kunhan huolehditaan tarpeeksi paksun kerroksen jäämisestä koko kantavaan kerrokseen. (Tiehallinto 2007f.)

Sekoitusjyrsitty kerros tiivistetään jyräämällä kumi- tai täryvalssijyrällä. Tiiveysvaatimus on 95 % koejyräyksen perusteella työmaalla määritetystä maksimitiiveydestä. Sekoitusjyrsityn materiaalin kuivairtitiheys määritetään koejyräyksen aikana. Tiiveyttä seurataan jyrään kytketyllä tallentavalla tiiveysmittarilla tai erillisellä radiometrisellä tiiveysmittarilla (esim. Troxler -laitteella). Jyräyksessä on erityisesti varottava ylijyräämistä ja jyrkkäluiskaisilla teillä tien reunojen vajoamista. (Tiehallinto 2007f.)



Kuva 9. Sekoitusjyrsinnän muotoilu ja tiivistäminen.

Päällystäminen

Sekoitusjyrsinnän jälkeen työn viimeisenä vaiheena on tien päällystäminen. Sekoitusjyrsitty kerros päällystetään mahdollisimman nopeasti. Päällysteenä toimii yleensä PAB-B, PAB-V tai AB. Ennen päällystämistä sekoitusjyrsinnän laatu voidaan tarkistaa mittaamalla tiiveysaste Troxler- laitteella sekä mittaamalla sivukaltevuudet. (Andament Oy 2006) Lisäksi sekoitetusta massasta otetuista näytteistä tutkitaan rakeisuus ja si-deainepitoisuus (Tiehallinto 2007f).

Sekoitusjyrsintä ulkomailla

Sekoitusjyrsintää vastaavaa menetelmää käytetään rakenteenparantamistoimenpiteenä myös ulkomailla mm. Ruotsissa (Djupfräsning, Infräsning) ja Pohjois- Amerikassa (Full-depth Reclamation, Pulverization, Mechanical Stabilization) (Andersson 2004, Cooley 2005). Yhdysvalloissa on kymmenen viime vuoden aikana tutkittu paljon erilaisia päällysteen kierrätysmenetelmiä. Päällystettä kierrätetään kolmella eri menetelmällä:

- Full-depth Reclamation (FDR)
- Hot-In-Place Recycling (HIR)
- Cold-In-Place Recycling (CIR)

Kierrätysmenetelmien yleistymiseen ovat vaikuttaneet rakennuskustannusten kasvaminen ja vanhoista päällysteistä aiheutuneet jäteongelmat. Yhdysvalloissa jyrsitään vuosittain arviolta 50 miljoonaa tonnia asfalttia. Uusia menetelmiä asfalttirouheen käyttämiseksi tien kunnostamiseen kehitellään koko ajan. (Cooley 2005.)

FDR on amerikkalaisten nimitys vanhan päällysteen kierrätysmenetelmille, joissa vanha päällyste käytetään paikan päällä ja samalla rakennetta voidaan vahvistaa lisäaineiden avulla. FDR koostuu neljästä eri menetelmästä. ”Jauhaminen” (pulverization) ja mekaaninen stabilointi vastaavat suomalaista sekoitusjyrsintämenetelmää. Bitumistabilointi ja kemiallinen stabilointi vastaavat taas suomalaisia kantavan kerroksen stabilointimenetelmiä. (Nielsen 2007.)

Jyrsintäsyvyys on yleensä 150–250 mm ja maksimi syvyys 400 mm. FDR voidaan toteuttaa kahdella eri menetelmällä. Vanha päällyste voidaan jyrsiä, seuloa ja sekoittaa työmaalla tai se voidaan rikkoa ja kuljettaa erilliselle asemalle murskausta varten. (Nielsen 2007.)

Menetelmä voidaan tehdä joko yhdellä kertaa tai useammassa erässä. 1-vaiheista menetelmää käytetään, kun lisäaineita ei käytetä ja materiaalin rakeisuus on jo valmiiksi oikea. Useampivaiheista menetelmää käytetään, kun tietä levennetään tai sen palvelutaso muuttuu. Useampivaiheista menetelmää tulisi käyttää, kun syvyys on yli 150 mm tai kun käytetään lisäaineita. (Nielsen 2007.)

HIR (Hot-in-Place Recycling) on kierrätysmenetelmä, jossa vanha päällyste kuumennetaan, päällysteen sekaan lisätään uutta kiviainesta ja sideainetta, joiden avulla korjataan koostumusta ja tilavuutta. Vanhaa hapettunutta sideainetta voidaan pehmentää elvyttimien avulla. HIR- menetelmä aiheuttaa vain vähän haittaa liikenteelle. Maksimisyvyys on kolme tuumaa. (Nielsen 2007.) Menetelmä vastaa Suomessa päällysteiden uusimisessa käytettyä Remix -menetelmää. (REM, REMO)

CIR (Cold-In-Place Recycling) on paikalla sekoitusmenetelmä massaa kuumentamatta. Kylmämenetelmässä asfaltti jyrsitään ilman päällysteen kuumentamista. Asfalttirouhe sekoitetaan yleensä emulsion kanssa, minkä jälkeen se levitetään ja tiivistetään. Tuloksena on stabiloitu kantava kerros, jonka päälle tulee 2-4 tuuman päällystekerros. (Nielsen 2007.) Menetelmä vastaa Suomessa käytettävää bitumiemulsiostabilointia (BEST).

”Jauhaminen” ja mekaaninen stabilointi

Jauhamisessa (pulverization) vanha päällyste jyrsitään, murskataan ja sekoitetaan kantavan kerroksen kanssa ilman sideaineen tai uuden kiviaineksen lisäämistä. Jauhettu materiaali tiivistetään ja muotoillaan, minkä jälkeen tie päällystetään uudelleen. (Nielsen 2007.) Menetelmää käytetään kaikissa eri stabilointimenetelmissä ensimmäisenä vaiheena ja vastaa suomalaisissa stabilointimenetelmissä esijyrsintää.

Mekaanisessa stabiloinnissa kantavan kerroksen rakeisuutta parannetaan lisämurskeen, asfalttirouheen tai jyrsityn vanhan päällysteen avulla. Mekaaninen stabilointi sopii parhaiten kohteisiin, joissa on alhaiset liikennemäärät, päällyste on vanhaa, hapettunutta ja ylikuormitettua. Mekaaninen stabilointi on kustannuksiltaan alhaisin menetelmä, mutta se ei välttämättä ole kustannustehokkain, koska lujuuden kasvu ei välttämättä ole merkittävä tai pitkäkestoinen. Yleisimmät mekaanisessa stabiloinnissa käytettävät lisäaineet ovat murskattu kiviaines, kierrätetty asfalttipäällyste ja murskattu betoni. Muita käytettyjä lisäaineita ovat valimohiekka, murskattu lasi ja kuidut. Mekaaninen stabilointi sopii parhaiten kohteisiin, joissa päällysteen ikä ja hoitotoimenpiteiden puute ovat tien heikon kunnon syy. Mekaaninen stabilointi parantaa kantavan kerroksen rakennetta korjaamalla kantavan kerroksen materiaalin rakeisuutta. (Nielsen 2007.)

Eri aineiden pitoisuuksien optimoimiseksi materiaalista otetaan näytteitä, jotka yhdistetään uusien materiaalien kanssa. Seoksesta tutkitaan laboratoriossa sen mekaaniset ominaisuudet. Laboratoriotestit sisältävät jäykkyyssmoduulin määrittämisen kolmiakselikokeella. Mekaanisessa stabiloinnissa voidaan lisäksi käyttää lisäaineita. (Nielsen 2007.)

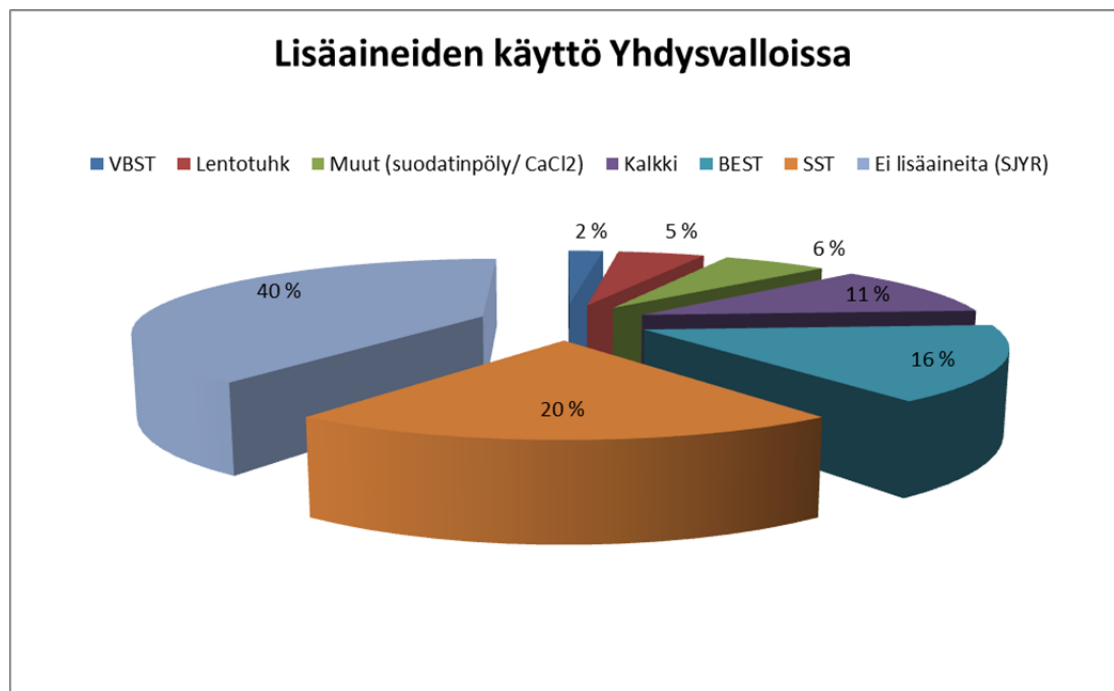
Bitumistabilointi

Bitumistabiloinnissa sekoitusjyrsittyyn materiaaliin sekoitetaan sideaineena joko bitumiemulsiota tai vaahtobitumia. Se on kustannustehokas vaihtoehto kohteisiin, joissa halutaan parantaa kantavuutta ja vähentää kosteuden vaikutuksia. Bitumistabilointi on joustavampi materiaali kuin muut sidotut kantavan kerroksen materiaalit. Bitumistabilointi vähentää asfaltin altistumista väsymiselle ja vähentää halkeilua. Se sopii parem-

min kohteisiin, joissa liikennemäärät ovat suuret. Emulsiota tai vaahdotettua bitumia käytetään 1-3 paino- %. (Nielsen 2007.)

Kemiallinen stabilointi

Kemiallisessa stabiloinnissa sekoitusjyrsityn materiaalin sekaan sekoitetaan sideaineeksi kalkkia, sementtiä, lentotuhkaa tai kalsiumkloridia. Suunnittelussa on otettava huomioon stabiloitavien materiaalien mekaaniset ominaisuudet ja kierrätetyn materiaalin, lisäaineen ja veden osuudet stabiloinnissa. Kierrätetyn materiaalin soveltuminen riippuu lähinnä rakeisuudesta ja plastisuusindeksistä. Optimivesipitoisuus ja maksimikuivairto- tiheys määritetään kaikille yhdistelmille. Suurin osa lisäaineista voidaan lisätä joko kuivina tai nesteinä. Kemiallisen stabiloinnin avulla on mahdollista hyödyntää muuten käyttökelvottomia materiaaleja. Sitä käytetään paljon kohteissa, jotka muuten vaatisivat raskaita parannustoimenpiteitä tai jopa kokonaan uudelleen rakentamisen. Se soveltuu myös raskaalle liikenteelle. (Nielsen 2007.)



Kuva 10. Lisäaineiden käyttö Yhdysvalloissa. (Mairepav5 Workshop II 2007)

2.2 Sekoitusjyrsityn materiaalin ominaisuudet ja soveltuminen kantavaan kerrokseen

Sekoitusjyrsityn materiaalin soveltumista kantavan kerroksen materiaaliksi ei ole tutkitu Suomessa. Kantavan kerroksen kiviainekselle on asetettu laatuvaatimuksia rakeisuudelle, lujuudelle, rakeiden murtopintaaisuudelle ja rapautumisherkkyydelle. Vastaavia laatuvaatimuksia ja raja-arvoja ei ole määritetty sekoitusjyrsitylle materiaalille.

Sekoitusjyrsitty materiaali koostuu vanhasta kantavan kerroksen materiaalista, lisämurskeesta tai sepelistä sekä asfalttirouheesta, jota syntyy kun vanha päällyste jyrsitään. Sekoitusjyrsitty kerros eroaa normaalista kantavasta kerroksesta sen sisältämän bitumin takia. Bitumia on kuitenkin niin vähän, ettei kerros toimi kuten sidottu rakenne. Bitumin on kuitenkin arveltu jäykistävän kantavaa kerrosta sekä sitovan hienoainesta itseensä (Roadex II 2002- 2005).

Sekoitusjyrsintää käytetään paljon kohteissa, joissa tiet ovat rakentamattomia tai kertaalleen parannettuja. Rakennekerroksissa käytetty materiaali ei täytä nykyisiä rakennekerroksille asetettuja laatuvaatimuksia. Yleisin ongelma on materiaalin routiminen. Liikenteen kuormitus on hienontanut kiviainesta ja lisännyt hienoainespitoisuutta. Rakennekerrokseen on saattanut myös sekoittua heikompilaatuista pohjamaata. Myös tien huono kuivatus heikentää tien kestävyyttä. (Tiehallinto 2005a)

2.2.1 Sitomattoman kantavan kerroksen materiaalivaatimukset

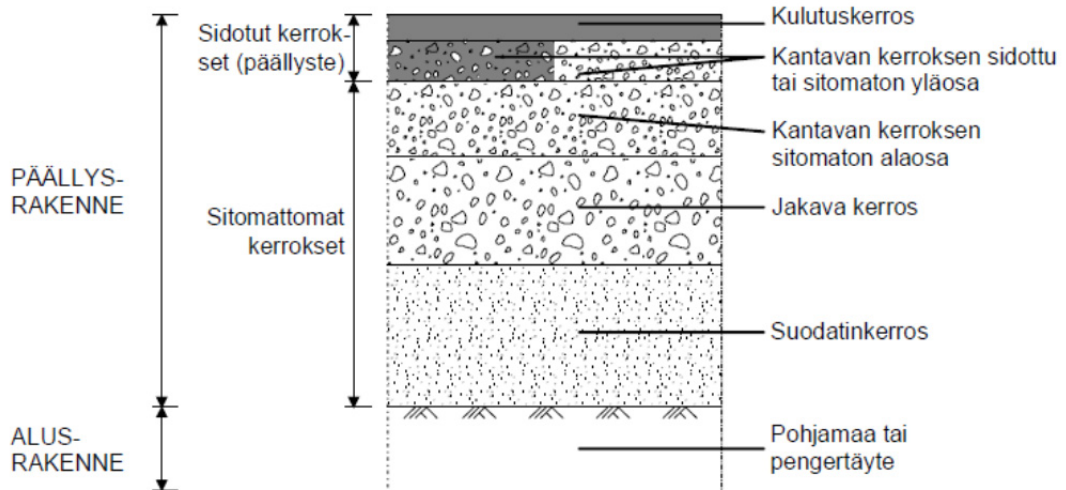
Tien rakennekerrokset

Tierakenne koostuu kahdesta pääosasta: alusrakenteesta ja päällysrakenteesta. Alusrakenne toimii alustana päällysrakenteelle ja sen tulee olla riittävän tasalaatuinen, kantava ja painumaton. Päällysrakenne on alusrakenteen päälle tuleva rakenne, joka ottaa vastaan liikenteen kuormitukset ja jakaa ne alusrakenteelle tasaisesti laajalle alueelle. Lisäksi päällysrakenne rajoittaa ja pienentää routanousuja. (Tiehallinto 2002a.)

Yleisin Suomessa käytetty päällysrakennetyyppi on joustava päällysrakenne (kuva 11). Rakenteessa päällimmäisenä kerroksena on bitumilla sidottu joustava kerros ja muut rakennekerrokset ovat sitomattomia. Sidottuja kerroksia ovat yleensä kulutuskerros ja usein myös kantavan kerroksen yläosa. Sitomattomia kerroksia ovat kantava kerros, jakava kerros ja suodatinkerros. (Tiehallinto 2002a.)

Kulutuskerroksen tehtävänä on toimia pintana, joka on turvallinen, miellyttävä ja taloudellinen ajaa. Lisäksi kulutuskerros estää veden pääsemisen rakenteeseen ja lisää päällysrakenteen yläosan jäykkyyttä. (Tiehallinto 2002a.)

Kantavan ja jakavan kerroksen tehtävänä on muodostaa päällystekerrokselle riittävän kantava ja jäykkä alusta niin, etteivät liikenteen aiheuttamat kuormitukset kasva päällysteelle liian suuriksi. Lisäksi kantava ja jakava kerros jakavat liikenteen kuormituksen niin, etteivät alusrakenteeseen kohdistuvat rasitukset kasva liian suuriksi. Jakavan kerroksen tehtävä on myös kuivattaa kantavaa kerrosta. Suodatinkerroksen tehtävänä on estää alusrakenteen ja päällysrakenteen materiaalien sekoittuminen keskenään, katkaista veden kapilaarinen nousu rakennekerrokseen ja kasvattaa routimattomien rakennekerrosten paksuutta. (Tiehallinto 2002a.)



Kuva 11. Tien rakennekerrokset. (Tiehallinto 2002a)

Tavallisesti joustavassa päällysrakenteessa on useita sitomattomia kerroksia, joissa voidaan käyttää erilaatuisia materiaaleja. Laadukkaita materiaaleja tarvitaan kantavaan kerrokseen, jossa liikenteen aiheuttama kuormitus on suurin. Alempana sijaitsevilla rakennekerroksissa voidaan käyttää heikkolaatuisempia materiaaleja. Sitomattoman kantavan kerroksen materiaali on yleensä murskattua. Jakava kerros tehdään yleensä luonnonsohasta tai murskatusta kiviaineksesta. Jakavan kerroksen kelpoisuuteen vaikuttavat hienoainespitoisuus ja rakeisuus. Suodatinkerros rakennetaan yleensä hiekasta. Käytettävän hiekan tulee täyttää tietyt rakeisuus- ja kapillaarisuusvaatimukset. Suodatinkerroksen materiaalin rakeisuuden tulee olla sellainen, ettei synny sekoittumisvaaraa alusrakenteen tai jakavan kerroksen materiaalin kanssa. Kaikkien sitomattomien kerrosten materiaalien tulee olla routimattomia. (Tiehallinto 2002a.)

Kiviaineksen laatuvaatimukset

Kantavassa kerroksessa voidaan käyttää raekokoja 0/32, 0/40, 0/45, 0/56 ja 0/63. Maksimiraekoko saa olla korkeintaan puolet kerralla tehtävän kantavan kerroksen paksuudesta. Enimmäiskokoa vastaavan seulakoon D läpäisyprosentti on 85-99 ja seulakoon 1,4D läpäisyprosentti on 100. Hienoainespitoisuus saa kalliomurskeilla olla korkeintaan 7 % ja soramurskeilla 9 %. Murskeiden rakeisuus tutkitaan standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti pesuseulonnalla. (Tiehallinto 2005e.)

Kantavan kerroksen murskeen iskunkestävyys määritetään standardin SFS-EN 1097-2 mukaisesti Los Angeles -kokeella. Los Angeles-luku LA saa olla korkeintaan 30. Liikennevirasto voi hyväksyä myös luokan LA40, jolloin joudutaan määrittämään arvovähennyksiä. (Tiehallinto 2005e.)

Standardin SFS-EN 933-5 mukaisesti soramurskeista määritetään murtopintaisten rakeiden osuus, jonka tulee olla vähintään 50 % ja kokonaan pyöristyneiden saa olla korkeintaan 10 %. Kalliomurskeilta ei tarvitse määrittää murtopintaisten rakeiden osuutta. (Tiehallinto 2005e.)

Taulukko 1. Kantavan kerroksen murskeiden tyyppirakeisuudet ja rakeisuus tulosten keskiarvojen sallittu vaihteluväli. Go avoin rakeisuus, kapea ohjealue (InfraRYL 2010)

Seula mm	0/32	0/40	0/45	0/56 & 0/63
0,5	5 -15	5 -15	5 -15	-
1,0	11 -21	11 -21	11 -21	5 -15
2,0	17 -28	17 -28	17 -28	11 -21
4,0	26 -38	26 -38	-	17 -28
5,6	-	-	26 -38	-
8,0	39 -51	-	-	26 -38
10,0	-	39 -51	-	-
11,2	-	-	39 -51	-
16,0	58 -70	-	-	39 -51
20,0	-	58 -70	-	-
22,4	-	-	58 -70	-
31,5	-	-	-	58 -70

Kantavan kerroksen materiaali ei saa olla rapautunutta tai rapautumisherkkää. Kiviaineksen jäätymis-/sulamiskestävyys voidaan tutkia kolmella eri menetelmällä:

- Standardin SFS-EN 923-3 mukaisesti petrograafisella analyysillä
- Standardin SFS-EN 1097-6 mukaisella vedenimeytymiskokeella
- Standardin SFS-EN 1367-1 liitteen B mukaisella jäätymis-sulamiskestävyystestillä, jossa käytetään 1% NaCl -liuosta.

Kantavan kerroksen vedenimeytymisen on oltava alle 1% (luokka WA₂₄₁) ja jäätymis-sulamiskestävyystestissä massahäviö saa korkeintaan olla 8 %. (Tiehallinto 2005e.)

Vähäliikenteisen tien kantava kerros

Vähäliikenteisillä teillä, joiden kuormituskertaluku on alle 0,4 milj. standardiakselia, ovat kantavan kerroksen materiaalin vaatimukset lievemmat: (Tiehallinto 2005e.)

- Murtopintaisten ja täysin pyöristyneiden rakeiden osuuksille ei ole asetettu vaatimuksia, myös murskaamaton sora kelpaa materiaaliksi
- Los Angeles -luku saa olla korkeintaan 40
- Jakavan kerroksen rakeisuusvaatimukset

Lisämurskeen laatuvaatimukset

Lisämurskeelle on määritetty vastaavat laatuvaatimukset kuin sitomattomalle kantavalle kiviainekselle. InfraRYL:in laatuvaatimusten lisäksi lisämurskeen laatuvaatimuksia voidaan täydentää urakkakohtaisesti ELY -keskuksen laatimilla päällysteurakan laatu-

vaatimuksilla. Kantavan kerroksen lisämurskeen laatuvaatimukseen vaikuttaa murskeen käyttökohde. Kokonaan uuden kantavan kerroksen materiaalilta ja vanhan kantavan kerroksen kanssa sekoitetun materiaalin murskeilta voidaan vaatia eri ominaisuuksia. (Liikennevirasto 2011b.)

Uuteen sitomattomaan kantavaan kerrokseen käytettävien materiaalien vaatimukset on esitetty InfraRYL:n osan 1 teknisissä vaatimuksissa. Kohdekohtaisesti voidaan antaa tarkennuksia ja tarvittavia muutoksia. Kohteelle voidaan valita Infra-RYL:ssä esitetyistä vaihtoehtoisista raekoista ja rakeisuusluokista kohteelle sopiva. Kantavuuden parantamiseksi on tarpeen käyttää 0/45 -mursketta. Työnaikaisen liikenteen ja saatavuuden puolesta murske 0/32 on parempi. (Liikennevirasto 2011b.)

Vanhaan kantavaan kerrokseen käytettävän lisämurskeen rakeisuus valitaan niin, että uuden ja vanhan materiaalin seos täyttää mahdollisimman hyvin uudesta materiaalista tehdyn sitomattoman kantavan kerroksen rakeisuusvaatimukset. Jos kantavassa kerroksessa on liikaa hienoaainesta, voidaan vaatia käytettäväksi lisämursketta, jossa on vähemmän hienoaainesta kuin InfraRYL:ssä esitetyissä yleisissä laatuvaatimuksissa. (Ve1 tai Ve2). Käytettävä materiaali määrätään työkohdesuunnitelmassa. Materiaali voi olla muukin kuin Ve1 tai Ve2, jos se soveltuu paremmin urakassa tarvittaviin murskelajitteisiin. (Liikennevirasto 2011b.)

- *VE1, Kantavaan kerrokseen lisättävänä materiaalina käytetään mursketta 0/45, jossa 0,063 mm seulan läpäisy- on korkeintaan 5 %.*
- *Ve 2, Kantavaan kerrokseen lisättävänä materiaalina käytetään mursketta 4/45, jonka rakeisuus täyttää standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti pesuseulonnalla tutkittuna alla olevassa taulukossa esitetyt vaatimukset*

Taulukko 2. Murskeen 4/45 rakeisuusvaatimukset. (Liikennevirasto 2011b)

Seula mm	Läpäisy p- %
63	100
45	85 -99
22,4	20 -70
4	0 -15
2	0 -5
0,063	0 -2

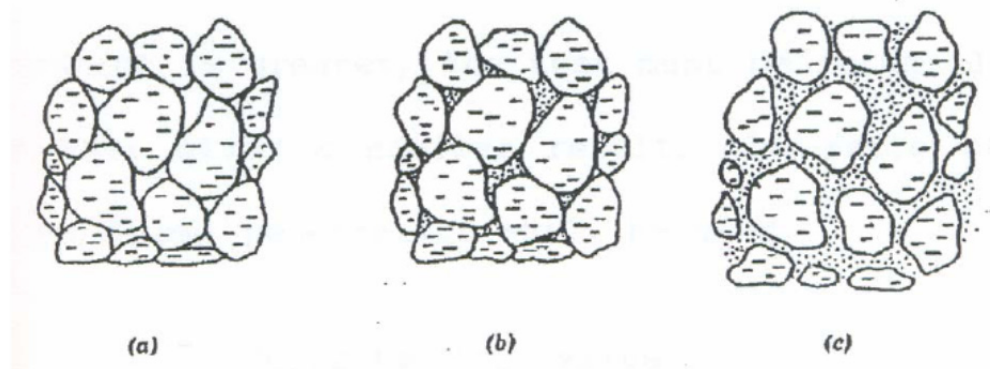
Muilta kuin rakeisuuden osalta laatuvaatimukset ovat samat kuin kokonaan uudesta materiaalista tehdyn kantavan kerroksen.

2.2.2 Kiviaines

Kantavan kerroksen kiviaineksen ominaisuudet vaikuttavat kantavan kerroksen lujuuteen ja sitä kautta koko tien kestävyYTEEN. Sitomattoman kantavan kerroksen stabiilitEetti

riippuu kiviainepartikkeleiden lukittumisesta, pintojen välisestä kitkasta ja kiviaineksen rakeisuudesta. Kantavan kerroksen tehtävä on ehkäistä veden pääseminen rakenteeseen ja kuivattaa rakennetta, ehkäistä pohjamaan tilavuuden muutoksia ja lisätä rakenteen kestävyyttä. Kiviaines, jossa hienoaineksen määrä on vähäinen, saavuttaa stabiliteetin kivien välisestä kosketuksesta. Materiaalin tiiveys on alhainen, mutta rakenne on vettä läpäisevä ja routimaton. Materiaali on kuitenkin hankalaa käsitellä rakentamisessa lajittumisen takia. (EASTS 2005.)

Kiviaines, jossa on riittävästi hienoainesta täyttämään kaikki tyhjätila rakeiden välillä, saa myös lujuutensa kiviainesten välisestä kosketuksesta, mutta se kestää paremmin leikkausvoimia. Tiheys on suuri ja vedenläpäisevyys on alhainen. Materiaali on hankala tiivistää, mutta se on kerroksen stabiliteetin kannalta ideaali. Materiaalilla, jossa on paljon hienoainesta, ei ole samanlaista kiviainesten kosketuksesta syntyvää lujuutta, jolloin kivirakeet ”kelluvat” hienommassa aineksessa. Tiheys on pieni ja maa on routivaa. Materiaalin stabiliteetti on alhainen kosteissa oloissa. Materiaalia on helppo käyttää rakentamisessa ja tiivistäminen on helppoa. (EASTS 2005.)



Kuva 12. (a) Kantava kerros, jossa on vähän hienoainesta, (b) Kantava kerros, jossa on riittävästi hienoainesta, (c) Kantava kerros, jossa on hienoainesta liikaa. (EASTS 2005)

Sitomattoman kantavan kerroksen materiaalin heikkous johtuu yleensä:

- Suuresta hienoainespitoisuudesta
- Puutteellisesta lujuudesta (hienoainespitoisuuden kasvu)
- Suuresta imeytyneen veden määrästä (mineralogia)

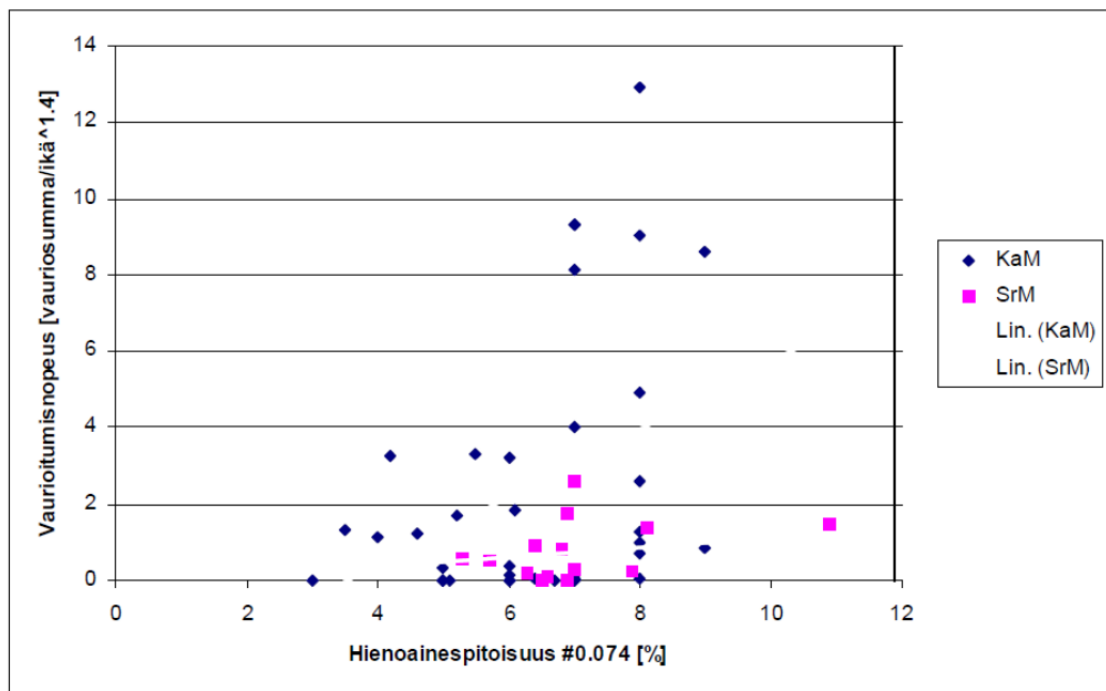
Hienoainespitoisuus

Hienoainespitoisuus vaikuttaa merkittävästi kantavan kerroksen ominaisuuksiin. Kantavan kerroksen hienoainespitoisuuden on todettu vaikuttavan päällystekerroksen vaurioitumiseen. Korkea hienoainespitoisuus lisää halkeamien, verkkohalkeamien, urautumisen ja routanousujen määrää. (Texas Department of Transportation 2005.)

Kantavan kerroksen rakentamisessa käytettävän kalliomurskeen suurin sallittu hienoainespitoisuus on 7 % ja soramurskeen 9 %. Kantavan kerroksen hienoainespitoisuuden

kasvaessa tien vaurioitumisnopeus kasvaa. Vaurioitumisnopeuden kasvu on voimakkaampaa kalliomurskeilla kuin soramurskeilla (kuva 13). Tien vaurioituminen kiihtyy, kun kalliomurskeen hienoainespitoisuus kasvaa yli 6,0 %. Soramurskeella vastaavaa rajaa ei ole tutkimuksissa löydetty. (Tiehallinto 2003a.)

Kantavan kerroksen kiviaineksen lujuus vaikuttaa rakennekerroksen hienoainespitoisuuteen. Liikenteen kuormitus aiheuttaa kiviaineksen murenemista ja rikkoutumista, mikä lisää kerroksen hienoainespitoisuutta. Kiviaineksen rakeisuuden kyky vastustaa mekaanista hienontumista sekä fysikaalista ja kemiallista rapautumista riippuu kiviaineksen mineralogiasta. (Tiehallinto 2002a.)



Kuva 13. Kantavan kerroksen hienoainespitoisuuden 0.074 ja vaurioitumisnopeuden välinen yhteys. (Tiehallinto 2003a)

Hienoainespitoisuuden kasvaessa kantavan kerroksen materiaalin lujuus pienenee. Hienoainespitoisuuden kasvaessa syntyy enemmän pysyviä muodonmuutoksia ja jäykkyysmoduulin arvo pienenee. Hienoainespitoisuuden lisääntymisen on todettu lisäävän materiaalin sisäistä kitkaa, mutta savisen hienoaineksen taas vähentävän sisäistä kitkaa. Myös kantavan kerroksen kosteusherkkyyys lisääntyy hienoainespitoisuuden kasvaessa. (EASTS 2005.)

Plastisuus

Hienon kiviaineksen plastisuus vaikuttaa kantavan kerroksen vakauteen. Kun materiaali läpäisee huonosti 0,60 mm (No. 30) seulan, plastisuus vaikuttaa lujuuteen vähän. Kun materiaalin läpäiseminen 0,60 mm seulalla kasvaa, plastisuus lisääntyy. Maalajin aktiivisuus määritellään plastisuusindeksin painoprosenttiin alle 0,002 mm materiaalista

(savilajite). (EASTS 2005) Plastinen hienoaines vaikuttaa kantavan kerroksen kosteusherkkyyteen ja jäykkyyteen. Hienoaineksen plastisuus vaikuttaa maa-aineksen vedenläpäisevyyteen ja vedenimeytymisominaisuuksiin. Plastisen hienoaineksen esiintymisellä on negatiivinen vaikutus kantavan kerroksen laatuun. (Texas Department of Transportation 2005.)

Taulukko 3. Savien luokitus aktiivisuuden perusteella. (EASTS 2005)

Aktiivisuus	Luokitus
< 0,75	Epäaktiivinen savi
0,75 -1,25	Normaali savi
> 1,25	Aktiivinen savi

Maksimiraekoko

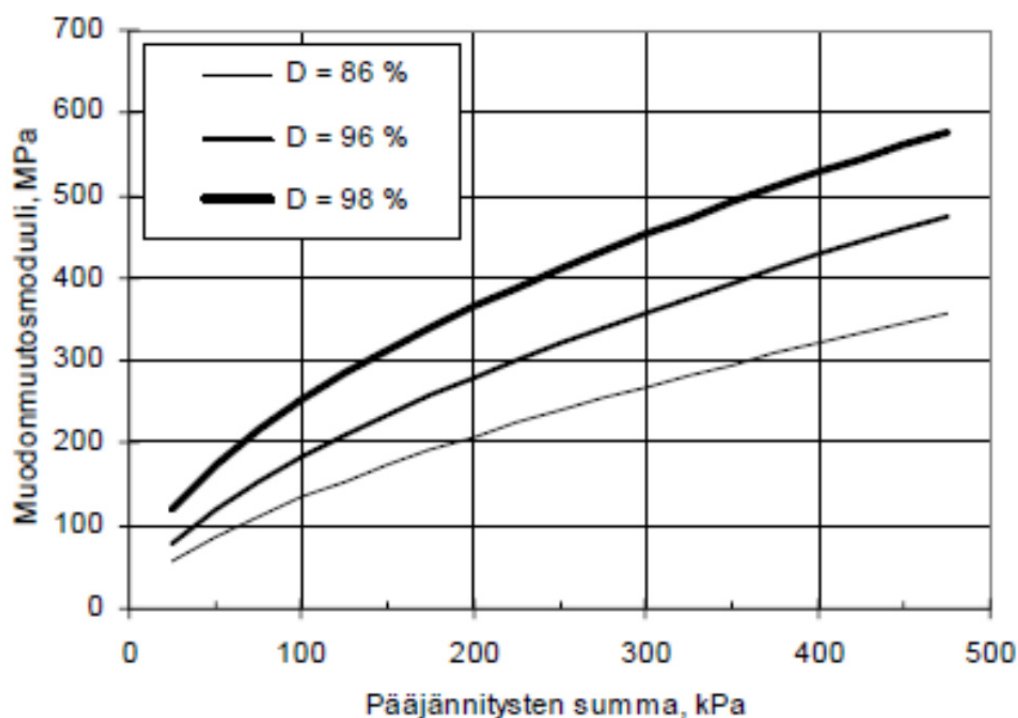
Maksimiraekoon kasvaessa lisääntyy materiaalin koheesio ja kestävyys leikkausvoimia vastaan. Kantavan materiaalin lujuus kasvaa myös raekoon kasvaessa. Hienoainespitoisuus vaikuttaa myös maksimiraekokoon. Kun hienoainespitoisuus pienenee, kasvaa maksimiraekoko. Kantavan kerroksen kiviaineksen lujuuteen vaikuttavat mineraalitiyypit, raemuoto, karkeus ja tiiveysaste, johon vaikuttavat raekoko ja rakeisuus. Myös hienoainespitoisuus vaikuttaa lujuuteen. (Texas Department of Transportation 2005.)

Taulukko 4. Yhteenvedo hienoainespitoisuuden ja maksimiraekoon vaikutuksista kantavan kerroksen ominaisuuksiin.

	Hienoainespitoisuuden kasvaminen	Maksimiraekoon kasvaminen
Lujuus	Pienenee	Kasvaa
Tiiviys	Kasvaa	-
Kosteusherkkyys	Kasvaa	-
Jäykkyys	Pienenee	-
Pysyvä muodonmuutos	Lisääntyy	-

Materiaalin tiiveys ja kosteuspitoisuus

Sitomattoman kantavan kerroksen ominaisuuksiin vaikuttavat kiviaineksen ja rakeisuuden lisäksi myös materiaalin tiiveysaste sekä kosteuspitoisuus. Kantavan kerroksen materiaalin tiiveyden kasvaminen lisää sitomattomien materiaalien jäykkyyttä ja vähentää pysyvien muodonmuutosten määrää. (Tiehallinto 2002a.)



Kuva 14. Tiiveysasteen vaikutus jäykkyysmoduuliin. (Tiehallinto 2002a)

Hyvin alhaisessa vesipitoisuudessa hienoaines toimii karkeampien rakeiden välisenä sementoivana aineena lisäten materiaalin jäykkyyttä ja kykyä vastustaa palautuvia muodonmuutoksia. Kun vesipitoisuus lisääntyy, tämä vaikutus heikkenee. Veden kyllästämää tilaa lähestyttäessä sitomattoman materiaalin lujuus voi alentua nopeasti, kun toistuva kuormitus aiheuttaa huokosveden ylipaineen kehittymisen, jolloin maarakeiden välinen tehokas jännitys romahtaa. Suurin riski huokosveden ylipaineen kehittymiselle ja nopealle deformatumiselle on materiaaleilla, joissa hienoaineksen määrä on suuri. Lisäksi kiviaineksen ja erityisesti hienoaineksen mineralogia ja laatu vaikuttavat, koska niistä johtuu materiaalin kyky imeä itseensä vettä ja erityisesti jäätyminen yhteydessä kyky pidättää vettä. (Oulun Yliopisto 2009.)

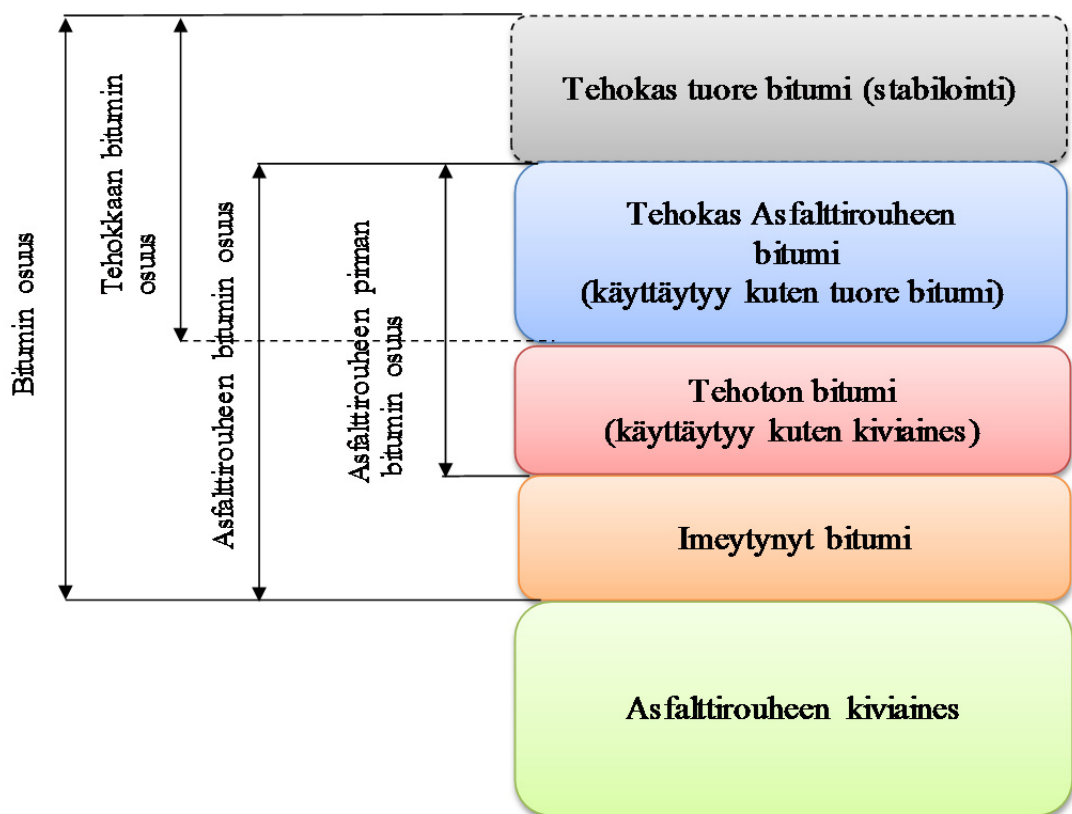
2.2.3 Asfalttirouhe ja sekoitusjyrsitty materiaali

Asfalttirouhetta (RAP) syntyy kun asfalttipäällyste jyrsitään. Sen muoto voi vaihdella päällystetyypin ja -lajin lisäksi myös jyrsintämuodon perusteella. Asfalttirouhe on yleensä hyvin tasalaatuista ja sen raekoko on jo valmiiksi riittävän pieni uudelleenkäyttöä varten. Asfalttirouhe sisältää pääasiassa kiviainesta yli 90 paino- % ja bitumia noin 2-6 paino- %. Asfalttimurske taas on erikseen murskattu asfalttipäällysteestä, jolloin rakeisuus on tarkempi. (Tiehallinto 2005c.)

Murskekäytössä asfalttirouhe sitoutuu aina vähän sen sisältämän bitumin takia. Suuri maksimirakekoko ja mastiksikokkareet voivat aiheuttaa epätasaisen tiivistystuloksen. Materiaali hylkii vettä ja pieni hienoainespitoisuus estää routimisen. (Tiehallinto 2007b.)

Asfalttirouhe koostuu kiviaineksesta, absorboituneesta bitumista, sekä rouheen pinnalla olevasta bitumista, joka voidaan jakaa tehokkaaseen ja tehottomaan. Lisäksi rouheeseen voidaan lisätä tuoretta bitumia (kuva 15). (Doyle 2012.)

Suomalaisissa sekoitusjyrsintäkohteissa päällysteen paksuus on yleensä ohut n. 40 mm, jolloin yleisimmillä jyrsintäsyvyyksillä 150-200 mm sekoitusjyrsityn materiaalin rouhepitoisuudeksi tulee noin 20-25 %. Suurilla jyrsintäsyvyyksillä 250-350 mm rouhepitoisuus on pienempi noin 11-16 %. Suomalainen sekoitusjyrsintämateriaali eroaa pohjois-amerikkalaisesta sen sisältämän asfalttirouhepitoisuuden perusteella. Pohjois-Amerikassa asfalttirouhepitoisuus voi vaihdella välillä 0-100 %. Suurempi rouhepitoisuus johtuu paksummista päällystekerroksista sekä asfalttimurskeen käyttämisestä lisämurskeena. Suomessa asfalttimurskeen käyttäminen lisämurskeena on vähäisempää. Asfalttirouheen määrä vaikuttaa sekoitusjyrsityn materiaalin ominaisuuksiin.



Kuva 15. Asfalttirouheen rakenne. (Doyle 2012)

Bitumilla päällystetyiksi partikkeleiksi lasketaan kaikki karkea kiviaines, josta bitumi peittää yli kolmasosan kiviaineksen pinnasta. Jos asfalttirouheesta on vähemmän kuin kolmasosa bitumin peitossa, partikkelin katsotaan käyttäytyvän kuin kiviainepartikkeli. Percent Asphalt Coated Particles (%ACP) kuvaa kuinka suuri osuus asfalttirouheen massasta on peittynyt bitumilla. Torontossa tehdyssä tutkimuksessa %ACP vaihteli 0,5-89,0 % välillä. Keskimääräinen arvo %ACP:lle oli 58,9 %. (Senior et al. 2008.)

Asfalttirouheen ominaisuudet vaihtelevat rakeisuuden, sideainepitoisuuden ja jyrshintämenetelmän perusteella. Kun asfalttirouhe sekoitetaan kiviaineksen kanssa, eri tutkimusten tulokset vaihtelevat laajasti eri julkaisuissa. Kaksi tutkimustulosta ei kuitenkaan koskaan vaihtelee eri julkaisuissa. Kun asfalttirouheen määrä lisääntyy, jäykkyyssmoduuli kasvaa ja leikkauslujuus pienenee. Leikkauslujuuden laskemisen takia kantavaa kerrosta ei voi rakentaa ainoastaan asfalttirouheesta. Asfalttirouheen maksimipitoisuuteen kantavassa kerroksessa vaikuttavat rouheen asfalttityyppi, kiviaineksen laatu ja kantavan kerroksen vaatimukset. Asfalttirouheen maksimipitoisuuden tulisi olla korkeintaan 50 %. (McCarrah 2007.)

Taulukko 5. Asfalttirouhe kantavassa kerroksessa Yhdysvalloissa. (McCarrah 2007)

Osavaltio	Asfalttirouheen käyttäminen kantavassa kerroksessa	Maksimi rouhepitoisuus %	Asfalttirouheelle asetetut vaatimukset
Florida	Ei	-	-
Illinois	Ei	-	-
Montana	Kyllä	50 -60	Ei mitään
New Jersey	Kyllä	50*	Rakeisuus
Minnesota	Kyllä	3**	Rakeisuus
Colorado	Kyllä	50*	Maksimiraekoko
Utah	Kyllä	2**	Rakeisuus
Texas	Kyllä	20	Ei tietoa
Kalifornia	Kyllä	50	Ei tietoa
New Mexico	Kyllä	Ei tietoa	Ei tietoa
Rhode Island	Kyllä	Ei tietoa	Rakeisuus
Etelä-Dakota	Ei	-	-

* Muutettu arvo, alkuperäinen arvo on ollut 100 %

** Maksimi AB-pitoisuus asfalttirouheessa

Asfalttirouheen eroavaisuudet

Eri lähteistä peräisin olevilla asfalttirouheilla voi olla merkittävästi erilainen rakeisuus, bitumipitoisuus ja tiheys. Tähän vaikuttavat esimerkiksi jyrshintämenetelmä, kiviaineksen lähde ja bitumin tyyppi. Koska asfalttirouheen laatu vaihtelee paljon, on rouheen ohella pakko lisätä kiviainesta. (McCarrah 2007.)

Sekoitusjyrssitty materiaali, rakeisuus

Suomessa sekoitusjyrssityn materiaalin rakeisuudelle ei ole asetettu muita vaatimuksia kuin, että jyrssityn kerroksen yksittäinen suurin raekoko ei saa olla yli 50 mm. (Tiehallinto 2005a) Yhdysvalloissa on yleisin sallittu asfalttirouheen maksimiraekoko 40 mm (1 ½ tuumaa). Liian suuri raekoko lisää materiaalin lajittumista, aiheuttaa liikaa tyhjätillaa sekä vaikeuttaa levittämistä ja tiivistämistä. Suurin asfalttirouheen raekoko ei saisi olla yli kolmasosaa tiivistetyn kerroksen paksuudesta. (ARRA 2001.)

Lujuus ja kulutuskestävyys

Sekoitusjyrsityn materiaalin kulutuskestävyyttä on tutkittu Yhdysvalloissa Micro Deval-kokeella. Kokeen tuloksena oli, että kantavan kerroksen murskeen häviö oli paljon vähäisempää kuin sekoitusjyrsityn materiaalin. (Mohamed 2009.) Suomessa ei käytetä Micro Deval-koetta tierakenteen kantavan kerroksen materiaalin kulutuksen kestävyyden tarkastamiseen. Suomessa käytettävän Los Angeles-kokeen ja Micro Deval-kokeen tuloksia ei pystytä suoraan vertaamaan keskenään, koska kokeissa kulumisen tapahtuu eri tavoin. Los Angeles-kokeessa testataan kiviaineksen iskunkestävyyttä, kun taas Micro Deval-kokeessa testataan kiviaineksen kestävyyttä hiovaa kulutusta vastaan. (Tielaitos 2000.) Taulukossa 6 ovat Yhdysvalloissa tehtyjen Micro Deval-kokeiden tulokset. Tuloksista voidaan päätellä, että sekoitusjyrsitty materiaali kestää huomattavasti vähemmän kulutusta kuin kantavan kerroksen murske. Rouhepitoisuuden lisääntyessä materiaalien kulumisen lisääntyy. (Mohamed 2009.)

Taulukko 6. Kiviaineksen ja asfalttirouheen kulutuskestävyys Micro Deval -kokeessa. (Mohamed 2009)

Materiaali	Hieno kiviaines massahäviö %	Karkea kiviaines massahäviö %
Luokka 5 (100 % kiviainesta)	7,62	13,11
RAP TH 10 (100 % RAP)	13,74	23,81
RAP TH 19-101 (100 % RAP)	15,01	26,62
RAP TH 19-104 (100 % RAP)	14,33	17,72
RAP TH 22 (100 % RAP)	16,21	23,26

Vesipitoisuus ja tiivistäminen

Sekoitusjyrsinnässä pitää selvittää olemassa olevan päällysteen ja kantavan kerroksen vesipitoisuus. Tarvittaessa vettä voidaan lisätä, jotta materiaalin sekoittuminen helpottuu ja tiiveysasteen vaihtelut pysyvät vähäisinä. Vesipitoisuuden ja tiivistämisen yhteyttä on tutkittu Etelä-Dakotan yliopistossa. (Nielsen 2007.)

Sekoitusjyrsitystä materiaalista tehdylle kantavalle kerrokselle voidaan asettaa tiiveysvaatimuksia. Tiiveyttä voidaan mitata monella eri menetelmällä. Yksi menetelmä on kastella ja jyrätä pintaa, kunnes tiiveys ei enää muutu enempää kuin 1 % edellisestä jyräyskerrasta. Toinen keino on mitata radioaktiivisella tiiveyden ja kosteuden mittaamiseen tarkoitettulla laitteella (Troxler) säännöllisin välimatkein. Yleisin laatuvaatimus kantavan kerroksen tiiveydelle on vähintään 95 % maksimikuivairtoteiheydestä. Laatuvaatimukset koskevat yleensä koko kerrosta, jollei erikseen muuta määrätä. Materiaalin epätasalaatuisuuden takia tiiveyttä tulisi mitata koko sekoitusjyrsinnän ajan. (Nielsen 2007.)

Sekoitusjyrsityn materiaalin tiivistymistä ja optimivesipitoisuutta on tutkittu Proctor-kokeella ja kiertotiivistimellä (taulukko 7). Tuloksena oli, että kiertotiivistin lisää kiintotiheyttä 32-128 kg/m³ ja vähentää optimikosteutta 0,8-1,9 % Proctor- kokeeseen verrattuna. Optimivesipitoisuus vähentyi 0-1 % -yksikköä, kun asfalttirouhepitoisuus kasvoi 25 %. Kiintotiheys pienentyi 0-38 kg/m³, kun rouhepitoisuus kasvoi 25 % -yksikköä Proctor -kokeessa. Tutkimuksissa todettiin kiertotiivistimen avulla saatujen vesipitoisuuksien ja kiintotiheyksien vastaavan paremmin työmaiden olosuhteita. (Kim et al. 2007.)

Asfalttimurskeen tiivistämisen normaalilla jyryskaalustolla ei ole kokemusten perusteella koettu olevan ongelmallista. Materiaalin laatu vaikuttaa tiiveyteen. Kestopäällysteistä (AB,SMA) tehdyt murskeet tiivistyvät heikommin kuin pehmeät asfalttimurskeet (PAB-V ja öljysora). Kylmäjyrsityn asfalttirouheeseen on todettu tiivistyvän hyvin. Asfalttimurskeen on arveltu myös sitoutuvan ainakin jossain määrin. (Tiehallinto 2007b.)

Taulukko 7. Sekoitusjyrsityn materiaalin tiivistyminen eri asfalttirouhepitoisuuksilla. (Kim et al. 2007)

Kuvaus	Proctor		Kiertotiivistin	
	Maksimi kuivatiheys kg/m ³	Optimi vesipitoisuus %	Maksimi kuivatiheys kg/m ³	Optimi vesipitoisuus %
In-Situ Blend CR 3	1984	9,0	2032	7,8
100 % Kiviainesta, CR 3	2000	10,0	2032	8,8
75 % Kiviainesta, 25 % RAP, CR 3	2000	10,0	2032	8,7
50 % Kiviainesta, 50 % RAP, CR 3	1952	9,5	2032	8,0
25 % Kiviainesta, 75 % RAP, CR 3	1920	8,5	2032	7,2
In-Situ Blend TH 3	2000	7,0	2080	5,4
In-Situ Blend TH 200	2096	6,5	2144	5,7
In-Situ Blend TH 5	1984	8,5	2112	6,6

Vedenläpäisevyys

Tien rakennekerrosten vedenläpäisevyyden pitäisi parantua tien pinnasta alaspäin mentäessä. Rakenteessa ei saa olla ylempiä kerroksia vesitiiviimpää kerrosta alle 0,7 m etäisyydellä tien pinnasta. Jos vesitiiviin kerroksen päälle tehdään vähemmän vesitiivis kerros, se saattaa kerätä vettä ja menettää kantavuutensa, jolloin uusi päällyste hajoaa. (Tiehallinto 2004c.)

Tutkimukset sekoitusjyrsityn materiaalin vedenläpäisevyydestä ovat ristiriitaisia. Benert ja Maher (2005) ovat tutkimuksissaan todenneet asfalttirouheen lisäämisen kantavassa kerroksessa pienentävän kantavan kerroksen vedenläpäisevyyttä. Tutkimuksessa verrattiin vakio- ja muuttuvapainekokeella viiden eri rouhepitoisuuden vaikutuksia vedenläpäisevyyteen (taulukko 8). Taha (1999) ja Trzebiatowski (2005) totesivat omissa

tutkimuksissaan vedenläpäisevyyden lisääntyvän, kun asfalttirouhepitoisuus kasvaa. Syyt erilaisiin tutkimustuloksiin voivat johtua eroista tiivistämisessä, kiviaineksen laadusta, hienoainespitoisuudesta tai asfalttirouheen pehmeystä. (McGarrah 2007.)

Taulukko 8. Eri asfalttirouhepitoisuuksien vaikutus vedenläpäisevyyteen. (McGarrah 2007)

Rouhepitoisuus	Vakiopainekoe m/s		Muuttuvapainekoe m/s	
	Kantava kerros	Jakava kerros	Kantava kerros	Jakava kerros
0 %	6,07E-0,4	1,94E-0,4	4,27E-04	1,52E-04
25 %	4,27E-0,4	7,06E-0,6	9,53E-05	7,06E-06
50 %	3,99E-0,4	2,82E-0,5	1,38E-04	2,47E-05
75 %	3,47E-0,6	1,05E-0,5	7,06E-0,6	1,05E-05
100 %	5,65E-0,5	5,65E-0,5	4,58E-05	4,58E-05

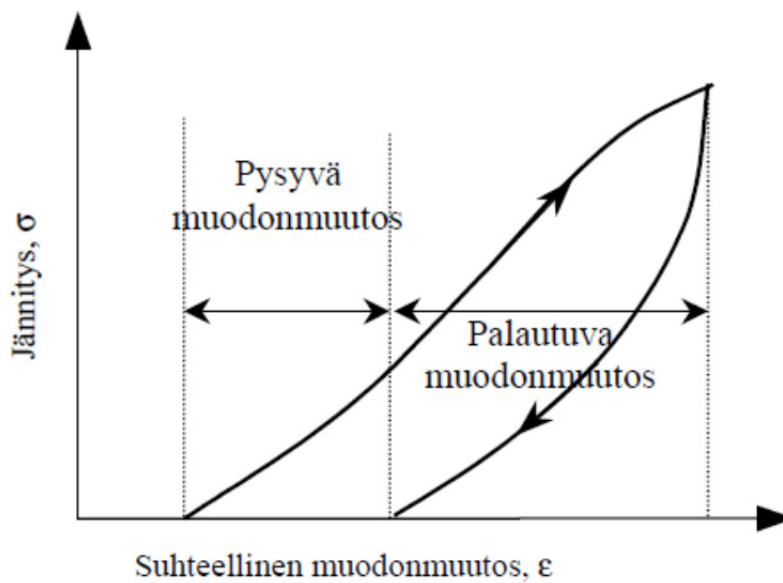
Taulukko 9. Eri maalajien tyypilliset vedenläpäisevyysarvot. (Tiwari 2008)

Maalaji	Tyypillinen vedenläpäisevyys k (m/s)
Sora ja karkea hiekka	$> 10^{-3}$
Hieno hiekka	$10^{-3} - 10^{-5}$
Silttinen hiekka	$10^{-5} - 10^{-7}$
Siltti	$10^{-7} - 10^{-9}$
Savi	$< 10^{-9}$

Muodonmuutosominaisuudet

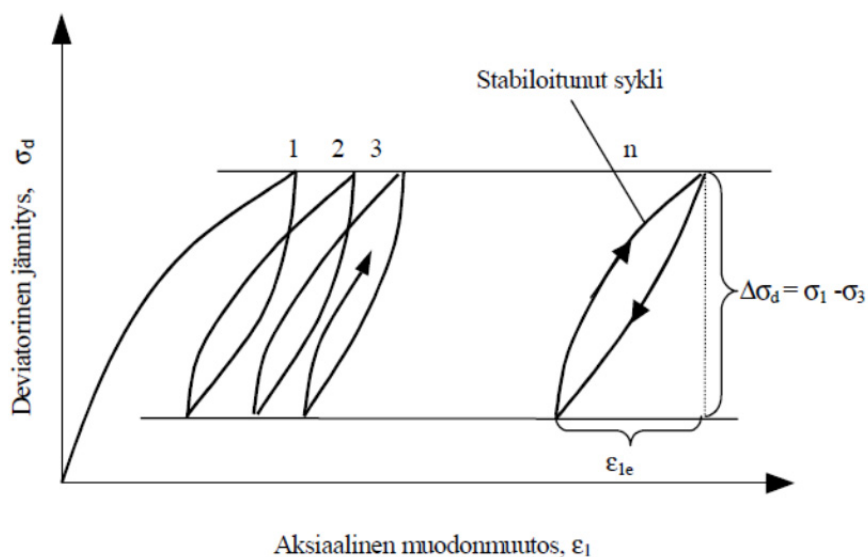
Kuormitus aiheuttaa sitomattomissa materiaaleissa sekä palautuvia (elastisia) että palautumattomia (plastisia) muodonmuutoksia (kuva 16.). Kun materiaalia kuormitetaan jatkuvasti samalla kuormituksella, palautumattoman muodonmuutoksen osuus pienenee lähes merkityksettömäksi. Tällöin maamateriaali stabiloituu ja käyttäytyy maaelastisesti, jolloin sen muodonmuutuskäyttäytyminen voidaan kuvata jännitystilaan sidotulla kimmomoduulilla. Jos kuormitus kasvaa suuremmaksi ja aiemmin aiheutettu jännitys ylitetään, maamateriaaliin syntyy uusia palautumattomia muodonmuutoksia. (Tiehallinto 2001a.)

Tierakenteen kuormituskestävyysmitoituksessa käytetään jäykkyysmoduulia (Resilient Modulus M_r). Jäykkyysmoduuli lasketaan kuormituksen aiheuttaman palautuvan muodonmuutoksen avulla. Jäykkyysmoduulista käytetään joskus myös nimitystä jäännösmoduuli. (Tiehallinto 2001a.)



Kuva 16. Yhden kuormitusyökin aiheuttamat palautumattomat muodonmuutokset. (Tiehallinto 2001a)

Sitomattoman materiaalin jäykköysmoduuliin vaikuttavat maan jännitys-, kosteus- ja tiiveystila. Materiaaliin kohdistuva jännitystila määräytyy syvyyden, yllä olevien kerrosten ominaisuuksien sekä rakenteeseen kohdistuvan liikennekuormituksen mukaan. Rakeisen materiaalin kuormitus-muodonmuutosriippuvuus on aina epälineaarinen. Raurungossa rakeet jakavat kuormituksia kontaktipisteiden kautta. Jännitystilan muuttuessa kontaktipisteiden ominaisuudet muuttuvat, jolloin materiaali ottaa jännityksiä eri tavoin vastaan. Jäykköysmoduulin arvo määräytyy materiaaliominaisuuksien sekä hydrostaattisen jännityksen (normaalijännitys) ja deviatorisen jännityksen (leikkausjännitys) yhteisvaikutuksista. (Tiehallinto 2001a.)



Kuva 17. Maanelastinen käyttäytyminen. (Tiehallinto 2001a)

Eri asfalttirouhepitoisuuksien vaikutusta kantavan kerroksen jäykkyyssmoduuliin on tutkittu kolmiakσιαalikokeiden avulla. Kokeessa on testattu jäykkyyssmoduulia asfalttirouhepitoisuuksilla 0, 25, 50 ja 75 %. Kokeen tuloksena oli, että 75 % asfalttirouhepitoisuudella oli suurin jäykkyyssmoduuli, kun taas pelkkä murske sai pienimmän jäykkyyssmoduulin arvon. Jäykkyyssmoduuli kasvaa asfalttirouhepitoisuuden kasvaessa. (Kim et al. 2007.)

Sykliisissä kolmiakσιαalikokeissa testattiin materiaaleihin syntyviä pysyviä muodonmuutoksia. Tuloksena oli, että asfalttirouhepitoisuuden kasvaessa pysyviä muodonmuutoksia syntyi enemmän. Sekoitussyrsityn materiaalin pysyvät muodonmuutokset olivat kaksinkertaiset murskeeseen verrattuina. (Kim et al. 2007.)

Jäädytys-sulamiskestävyys

Sekoitussyrsityn materiaalin jäädytys-sulatuskestävyyttä on tutkittu vertaamalla materiaalin jäykkyyssmoduulia ja leikkauslujuutta heti tiivistämisen jälkeen sekä jäädytys-sulatuskokeen jälkeen. Jäädytyslämpötila oli -24 C° ja jäädytysaika 24 h. Sulatuslämpötila oli 24 C° ja aika 24 h. Jäädytys-sulatus-syklejä tehtiin kaksi, minkä jälkeen määritettiin jäykkyyssmoduuli ja leikkauslujuus. Kokeissa ei todettu jäädytys-sulatus-syklien vaikuttavan materiaalin jäykkyyssmoduuliin. Kokeissa jäykkyyssmoduuli kasvoi hieman pienemmän vesipitoisuuden vuoksi. (Mohamed 2009.)

Yhteenveto sekoitussyrsityn materiaalin ominaisuuksista

Sekoitussyrsityn materiaalin ominaisuudet johtuvat monesta eri tekijästä, minkä takia materiaalin käyttäytymistä kantavassa kerroksessa on hankala arvioida. Sekoitussyrsityn materiaalin ominaisuuksiin vaikuttavat eri ainesosien rakeisuudet, kiviaineksen hienoainespitoisuus, vesipitoisuus, materiaalin tiiveysaste sekä rouheen ominaisuudet. Rouheen ominaisuuksiin vaikuttavat päällystetyyppi ja se kuinka vanhaa ja kovaa bitumi on. Vanhan kantavan kerroksen materiaali voi olla huonokuntoista ja hienoainespitoisuus voi olla suuri.

Asfalttirouhepitoisuuden kasvaessa kantavan kerroksen materiaaliominaisuudet heikenevät. Materiaalin leikkauslujuus pienenee kun asfalttirouhepitoisuus kasvaa. Siksi kantavaa kerrosta ei voi tehdä pelkästään asfalttirouheesta. Tämän takia asfalttirouhepitoisuudelle pitää määrittää maksimipitoisuus, jota sekoitussyrsitty materiaali ei saa ylittää. Yhdysvalloissa on useissa osavaltioissa asetettu maksimirouhepitoisuudeksi 50 %. Sekoitussyrsityn materiaalin ominaisuuksiin vaikuttavat rouhepitoisuus, kiviaineksen ominaisuudet ja rakeisuus sekä vesipitoisuus ja tiiveysaste. Sen takia kaikki Yhdysvalloissa tutkitut materiaaliominaisuudet eivät välttämättä pidä paikkaansa suomalaisissa oloissa.

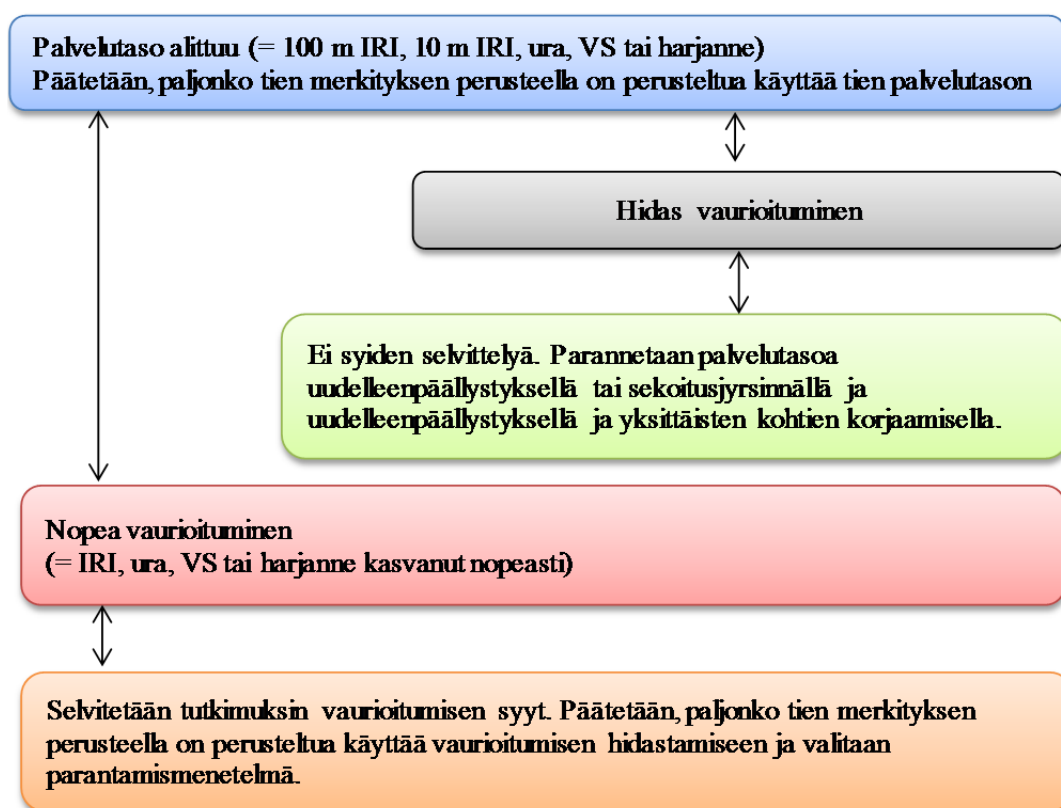
Taulukko 10. Asfalttirouhepitoisuuden vaikutukset kantavan kerroksen ominaisuuksiin.

Ominaisuus	Asfalttirouhepitoisuuden kasvu kantavassa kerroksessa
Lujuus ja kulutuskestävyys	Kuluminen lisääntyy
Vesipitoisuus	Optimivesipitoisuus pienenee
Kiintotiheys	Pienenee
Vedenläpäisevyys	Ristiriitaisia tuloksia
Jäykkyysmoduuli	Jäykkyysmoduuli kasvaa
Pysyvät muodonmuutokset	Pysyviä muodonmuutoksia syntyy enemmän
Jäädytys-sulamiskestävyys	Ei vaikutuksia

2.3 Rakenteen parantamisen ja sekoitusjyrsinnän suunnittelu

Sekoitusjyrsintä on kevyt rakenteenparantamistoimenpide, jota käytetään vähäliikenteisillä teillä. Sekoitusjyrsinnän suunnittelusta ei ole olemassa omia ohjeita, mutta suunnittelun apuna voidaan käyttää Tiehallinnon julkaisuja:

- Rakenteen parantamisen suunnittelu, TIEH 2100035-05
- Päälysrakenteen stabilointi TIEH 2100055-v-07
- Kunnostusmenetelmän valinnan problematiikka TIEH 4000475-v



Kuva 18. Rakenteen parantamisen eteneminen. (Tiehallinto 2005f)

2.3.1 Rakenteen parantaminen

Esiselvitysvaihe

Rakenteen parantamishanke alkaa esiselvitysvaiheella. Esiselvitysvaiheen tavoitteena on tunnistaa ongelmat, asettaa tavoitteet ja määrittää hankkeen etenemispolku. Tien tavoitetaso asetamiseen vaikuttavat tien nykytila, tien parantamistarve ja tien liikenteellisestä merkityksestä riippuva rahoituksen määrä. Rakenteen parantamishankkeissa tien rahoitusta järjestyy yleensä liian vähän tien parantamistarpeeseen nähden, jolloin joudutaan valitsemaan kohteet, joissa haitat ovat suurimmat. Haittoja arvioidaan tien liikenteellisen merkityksen, tien käyttäjien ja mahdollisesti myös tien pääoma-arvon säilyttämisen perusteella. Tarkoituksena on selvittää, paljonko on perusteltua käyttää varoja tien palvelutason parantamiseen ja vaurioitumisen hidastamiseen. (Tiehallinto 2005f.)

Tiet voidaan jakaa rakenteen kunnon perusteella hitaasti ja nopeasti vaurioituviiin. Nopeasti vaurioituvat tiet vaativat aina jatkoselvityksiä ja niiden parantaminen edellyttää rankempia toimenpiteitä pidemmän kestoian saavuttamiseksi. Hitaasti vaurioituville teille voidaan puolestaan tehdä kevyt rakenteen parantamistoimenpide ilman tarkempia tutkimuksia. Yksittäisten vauriokohtien korjaustarve määritetään aina erikseen (Leveät halkeamat, routaheitot yms.) (Tiehallinto 2005f.)

Liikennemäärän ollessa pieni (KVL alle 600- 800) tiet ovat yleensä rakentamattomia tai kevyesti parannettuja. Päälysteenä on öljysora, KAB, PAB-V, PAB-B, SOP tai AB. Rakenteet eivät yleensä täytä routamitoitusvaatimuksia, joten roudan aiheuttamat vauriot ovat yleisin syy vaurioitumiselle. Tien parantamisen tarkoituksena on minimoida liikenteen kokemat haitat ja korjata tien rakenteen kannalta haitallisimmat vauriot. (Tiehallinto 2005f.)

KVL:n ollessa yli 800-1000 ajoneuvoa vuorokaudessa on liikenteen kuormitus tien vaurioitumisen yleisin aiheuttaja. Tiet ovat rakennettuja, levennettyjä tai kertaalleen parannettuja. Parantamistoimenpiteet kohdistetaan kuormituskestävyyden parantamiseen, jotta päälystekierto saadaan pidemmäksi. (Tiehallinto 2005f.)

Tiestä selvitetään liikennemäärät sekä kuntotiedot. Tieosuuden rakenteen parantamistarve tulee yleensä esille, kun hallintajärjestelmän (PMS) kuntotietoihin perustuvien päättelysääntöjen ehdot täyttyvät. Vaurioille, tasaisuudelle ja urasyvyydelle on asetettu raja-arvoja, jotka riippuvat tien liikennemäärästä ja nopeusrajoituksesta. Esiselvitysten tarkoituksena on selvittää tien nykytila niin tarkasti, että saadaan selville tarvittava rahoitus, jolla saavutetaan tien liikenteellisen merkityksen mukaiset tavoitteet. (Tiehallinto 2005f.)

Tierekisteristä saadaan selville suunnitteluun ja mitoitukseen vaikuttavia teknisiä tietoja sekä toimenpidehistoria. Kuntorekisteristä (KURRE) saadaan selville tien kunto. Kuntotieto on rekisterissä 100 metrin jaksoissa. Kuntorekisteristä saadaan selville:

- Urat (mm)
- Tasaisuus IRI (mm/m)
- Vauriosumma (m²/100 m) / Vaurio-osuus

Vähäliikenteisillä päällystetyillä teillä tien kuntoa arvioidaan pituussuuntaisen epätasaisuuden (IRI), ajourien välisen harjanteen korkeuden ja tienkäyttäjän vauriosumman (VSt) perusteella. Maastokäynti on vähäliikenteisillä teillä tärkein vaihe arvioitaessa kohteen kunnostustarvetta ja toimenpiteiden valintaa. Paras aika suorittaa maastokäynti on kevät lumen sulamisen aikaan, jolloin pintavauriot ovat hyvin nähtävissä ja routanousut eivät ole vielä pienentyneet. Maastoinventoinnin tarkoituksena on tehdä tielle jaksotus ongelmien laadun suhteen ja tehdä päätökset siitä, mikä rakenteen parantamistoimenpide tielle parhaiten sopii. (Tiehallinto 2005a.)

Kun vaurioituminen on hidasta ja tien poikkileikkaus on kunnossa, voidaan toimenpiteet suunnitella pelkän rekisteritiedon ja maastokäynnin avulla. Toimenpiteeksi valitaan usein päällystäminen. Kun vaurioituminen on nopeaa, tarvitaan lisätutkimuksia vaurioitumisen syyn selvittämiseksi. Lisätutkimuksissa voidaan selvittää mm. kantavan kerroksen materiaalien laatu ja hienoainespitoisuus, rakennekerrosten paksuudet sekä mahdollisten vettä läpäisemättömien kerrosten sijainti rakenteessa. (Tiehallinto 2005f.)

Esiselvitysten tuloksena saadaan kohteelle määritettyä rakenteen parantamisen menetelmä joko koko kohteelle tai eripituisissa jaksoissa:

- Uudelleen päällystäminen
- Kevyt parantaminen nykyisellä tiealueella (SJYR, Stabiloinnit, teräsverkot)
- Raskas rakenteen parantaminen nykyisellä tiealueella
- Raskas rakenteen parantaminen lisäämällä tiealuetta
- Uudelleen rakentaminen

Jos rakenteen nykytilasta on kattavasti lähtötietoja ja tavoite asetetaan sellaiseksi, että budjetti riittää, voidaan rakenteen suunnittelu jättää urakoitsijan tehtäväksi. Rahoitus on vähäliikenteisillä teillä yleensä niin pieni tai vaihtoehtoisia parantamisratkaisuja ei ole, joten tilaaja tekee tilausvaiheessa valinnan yksittäisten kohtien korjaamisesta tai ilmoittaa rakenteen vahvistamisen lähtökantavuuden ja halutun kantavuuslisäyksen muodossa. (Tiehallinto 2005f.)

Tilaaja voi antaa sitovana myös jonkin tietyn rakennetyypin, jos vastaavan rakenteen on havaittu toimivan vastaavalla kohteella hyvin. Rakenteen ei tarvitse tällöin olla suunnitteluohteiden mukainen. Rakenteelle ei voida tällöin asettaa tavoitekantavuutta eikä edellyttää vaurioitumattomuutta vaan laatuvaatimukset asetetaan kerrospaksuuksille ja kerrosten tiiveydelle. (Tiehallinto 2005f.)

Tutkimukset ja lisäselvitykset

Jos rakenteen parantamishankkeena oleva tie on vaurioitunut nopeasti, on vaurioitumisen syy selvitettävä lisätutkimusten ja selvitysten avulla. Yleisin syy tien nopealle vau-

rioitumiselle on sen heikko kuormituskestävyys. Tierakenteen ja pohjamaan kantavuus selvitetään pudotuspainolaitemittausten avulla. Mittauksissa selvitetään kantavuuden vaihtelut ja heikompien kerrosten sijainti. Maatutkaluotauksia käytetään tien rakennekerrosten paksuuksien, pohjamaan vaihteluiden, kerrosrajojen tasaisuuden ja eri kerrosten suhteellisten vesipitoisuuksien selvittämiseen. (Tiehallinto 2005f.)

Lisäksi tiestä otetaan maanäytteitä. Porattavilla maakairauksilla selvitetään todelliset maakerrosten rajat, joita voidaan verrata maatutkaluotausten tuloksiin. Kantavan kerroksen heikkolaatuisuuden selvittämistä varten kaivetaan koekuoppa, josta otetaan kaksi eri näytettä. Ensimmäinen näyte on ylin kymmenen senttimetriä kantavasta kerroksesta ja toinen näyte on loppuosa kantavasta kerroksesta. Näiden kahden näytteen rakeisuutta vertaamalla voidaan määrittää kantavan kerroksen laatu ja onko kantavan kerroksen yläosa hienontunutta. Kantava kerros on heikkolaatuista, jos vähintään joka toisessa näytteessä hienoainespitoisuus on kalliomurskeella yli 9 % ja soramurskeella yli 12 %. Kantavan kerroksen laatu voidaan määrittää myös imupainekokeen tai veden adsorptiokokeen avulla. Imupainekokeen tulos ei saa olla yli 10 ja veden adsorptiokokeen tulos ei saa olla yli 2 %. (Tiehallinto 2005f.)

Painumaan ja routanousuun liittyvät epätasaisuudet etsitään PTM- mittausten avulla ja raportoimalla IRI viiden tai kymmenen metrin välein. Mittaus tehdään painumien osalta sulan maan aikana ja routaheittojen osalta kevättalvella. (Tiehallinto 2005f.)

Suunnitteluvaihe ja mitoitus

Jos tien palvelutaso alittuu jonkin pintakuntoa kuvaavan tunnusluvun perusteella, tie valitaan kunnostettavaksi. Tien liikenteellinen merkitys huomioon ottaen arvioidaan, kuinka paljon tien palvelutason parantamiseen ja vaurioitumisnopeuden hidastamiseen on mahdollista käyttää resursseja. Kunnostustoimenpide valitaan vaurioitumisnopeuden ja vaurioiden syiden perusteella. Jos vaurioitumisnopeus on hidas, ei vaurioitumisen syytä tarvitse selvittää. Kunnostustoimenpiteiden vaihtoehtoina ovat uudelleen päällystäminen tai sekoitusjyrsintä. Vaurioitumisen syyt pitää selvittää, jos vaurioitumisnopeus on suuri. Kunnostustoimenpiteen valinnassa on otettava huomioon eri menetelmien kustannukset ja kestoiät. Raskas rakenteen parantaminen on kallis vaihtoehto mutta kestoikä on yleensä pitkä, kun taas kevyt rakenteen parantamistoimenpide on halvempi vaihtoehto, mutta kestoikä saattaa olla lyhyt. (Tiehallinto 2005f.)

Hitaasti vaurioituvilla kohteilla valitaan toimenpiteeksi uudelleen päällystäminen tai sekoitusjyrsintä ilman tarkempia vaurioitumisen syyn selvittämisiä. Nopeasti vaurioituvilla kohteilla sekoitusjyrsinnällä voidaan parantaa tien kuormituskestävyyttä. Sekoitusjyrsintä valitaan kunnostusmenetelmäksi kohteissa, joissa:

- kantavan kerroksen rakeisuus on heikko (SJYR + lisämurske)
- Kantava kerros vettä sitova (SJYR+ sepelin lisäys)
- vanha päällystekerros tai savikerros on rakenteessa päällysteen alla 0,3 m syvyydellä

Jos sekoitusjyrsinnän tarkoituksena on parantaa kantavan kerroksen laatua, mitoitus tehdään joko Odemarkin tavoitekantavuuteen- tai Odemarkin kantavuuslisäysmenetelmällä. Kantavuusmitoitusta ei tarvitse tehdä, jos sekoitusjyrsinnällä korjataan ainoastaan rikkoutunut vanha päällyste tai tasataan poikkileikkauksen epätasaisuudet. Esimerkki sekoitusjyrsinnän mitoituksesta on liitteessä A. (Tiehallinto 2005f.)

Odemarkin mitoitus tavoitekantavuuteen -menetelmässä määritetään liikennemäärän, tien leveyden ja luiskakaltevuuden perusteella tavoitekantavuus ja päällyskerrosten vähimmäispaksuus. Mitoituksessa voidaan käyttää apuna Tiehallinnon tierakenteen suunnitteluohjetta. Kun alustan kantavuus tiedetään, voidaan Odemarkin kaavalla laskea, kuinka paksuja eri materiaaleista rakennettavista kerroksista tulee tehdä, jotta tavoitekantavuus saavutetaan. Lisäkerrosten paksuuteen vaikuttaa vanhan rakenteen kantavuus.

Odemarkin kaava (Tiehallinto 2004f):

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \times \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \times \left(\frac{h}{a}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}} \quad (1)$$

jossa:

E_A	mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (MPa)
E_p	mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus (MPa)
E	mitoitettavan materiaalin E- moduuli (MPa)
h	mitoitettavan kerroksen paksuus (m)
a	0,15 (m) (levykuormituslaitteen levyn säde)

Odemarkin mitoitus kantavuuslisäykselle -menetelmä perustuu Odemarkin kaavaan. Kantavuuslisäystavoite suunnitellaan eri osuuksille vaurioitumisen, vanhojen rakennekerrosten paksuuksien ja laadun, tiealueen sekä mitatun kantavuuden ja taipumasupplion muodon perusteella. Osuuksille suunnitellaan järkevät rakenteet ja lasketaan niiden avulla saatu kantavuuden lisäys. Näin saatuja kantavuuslisäyksiä käytetään laatuvaatimuksina. (Tiehallinto 2005f.)

2.4 Muut kevyet rakenteen parantamistoimenpiteet

Sekoitusjyrsinnän lisäksi muita vaihtoehtoisia kevyitä rakenteen parantamistoimenpiteitä ovat kantavan kerroksen stabiloinnit, lujiteverkkojen käyttäminen ja pelkkä uudelleen päällystäminen. Sekoitusjyrsintä on yleistynyt rakenteen parantamistoimenpiteenä alhaisten rakentamiskustannustensa ansiosta. Rakenteen parantamistoimenpiteitä valittaessa on otettava huomioon toimenpiteen soveltuminen kohteeseen. Stabiloinneilla pystytään lisäämään tien kantavuutta ja kuormituskestävyyttä, kun taas sekoitusjyrsinnän vaikutuksen on arveltu olevan vähäinen tien kantavuuteen. Liitteessä K on eri rakenteen parantamistoimenpiteiden laskennalliset vaikutukset tien kantavuuteen. Taulukossa 11

on lueteltu eri vahvistamistarpeiden syyt ja niihin soveltuvat parantamismenetelmät. (Tiehallinto 2005f.)

Taulukko 11. Kuormituskestävyyden parantamismenetelmän valinta. (Tiehallinto 2005f)

Vahvistamistarpeen syy	Parantamismenetelmä
Liian ohuet kerrokset	Murskenosto Sidottujen kerrosten lisäys Stabilointi
Rakeisuudeltaan heikko (hiekkavaltainen) kantava kerros	Murskenosto Sekoitusjyrsintä + lisämurske Stabilointi Sidottujen kerrosten lisäys Teräs- tai lasikuituverkko
Heikkolaatuinen (vettä sitova) kantava kerros	Stabilointi Sekoitusjyrsintä + sepelin lisäys
Vanha päällyste tai vanha saviorakerros alle 0,3 m syvyydessä	Sekoitusjyrsintä
Liian jyrkät luiskat, heikko reunakantavuus	Luiskien loiventaminen Ojan putkitus Teräsverkko Tien leventäminen
Vesipinta ylhäällä sivuojassa	Kuivatuksen kunnostaminen Murskenosto Lujiteverkko

Kantavan kerroksen stabiloinnit

Stabiloinnit ovat rakenteen parantamistoimenpiteitä, joilla voidaan parantaa tien kantavuutta. Stabilointi sopii hyvin kohteisiin, joissa kantavan kerroksen rakeisuus aiheuttaa ongelmia. Stabilointi voidaan suorittaa joko asema- tai paikallasekoitusmenetelmällä. Asemasekoituksessa stabilointimassa valmistetaan sekoitusasemalla ja massa levitetään kohteelle esimerkiksi asfaltinlevittimellä. Paikallasekoitusmenetelmässä sideaine sekoitetaan stabiloitavaan kerrokseen suoraan työmaalla työhön tarkoitettulla stabilointijyrsimellä. (Tiehallinto 2002b.)

Esijyrsintä on stabilointityön vaihe, jossa tien kantavan kerroksen profiilia parannetaan ja stabiloitava kerros homogenisoidaan. Stabilointijyrsinnässä sideaine sekoitetaan kantavaan kerrokseen. Stabilointimenetelmät luokitellaan kahteen eri luokkaan sideainelajin perusteella: bitumisiin ja hydraulisiin stabilointeihin. (Tiehallinto 2002b.)

Esitutkimuksena määritetään stabilointimateriaalin tavoitekosteus ja tavoitettavuus Proctor- kokeella. Stabiloitavan materiaalin rakeisuuden ja sideainepitoisuuden ohjearvot tulee esittää suunnitelmissa. AB- ja PAB -rouhetta käytettäessä on myös ilmoitettava käytetyt sitoutumiskertoimet ja niiden perustelut. (Tiehallinto 2002b.)

Bitumistabilointi (BST)

Bitumistabiloinneissa sideaineena toimii bitumi. Stabilointi voidaan tehdä vaahtobitumistabilointina (VBST), bitumiemulsiostabilointina (BEST) tai Remix -stabilointina (REST). Bitumiemulsiostabiloinnissa bitumi lisätään emulsiona kylmään ja kosteaan kiviainekseen. Bitumiemulsio valmistetaan emulgoimalla bitumia veteen, jolloin bitumista muodostuu pieniä pisaroita veden sekaan. Emulsio murtuu kohdatessaan kiviaineksen pinnan, jolloin vesi erottuu emulsiosta ja bitumi muodostaa sidoksen kivirakeiden välille. Bitumiemulsiostabiloinnin voi tehdä joko asema- tai paikallasekoitusmenetelmällä. (Tiehallinto 2007f.)

Vaahtobitumistabiloinnissa vettä sekoitetaan kuumaan bitumiin ylipaineessa ja seoksen annetaan purkautua alempaan paineeseen. Seoksen purkautuessa sekoituskammioista normaaliin ilmanpaineeseen vesi höyrystyy ja bitumi vaahtoutuu. Vaahtoutunut bitumi sekoitetaan kylmän ja kostean kiviaineksen kanssa. Vaahtobitumistabiloinnin voi tehdä joko asema- tai paikallasekoitusmenetelmällä. (Tiehallinto 2007f.)

Remix- stabilointi tehdään aina paikallasekoitusmenetelmällä. Remix- stabiloinnissa vanha päällyste lämmitetään, päällyste ja kantavan kerroksen yläosa jyrsitään ja lisätään lisäkiviaines. Jyrsittyyn materiaaliin sekoitetaan bitumi emulgoituna tai vaahdotettuna. Lopuksi massa levitetään ja tiivistetään. Lämmityksen ansioista massa sekoittuu, homogenisoituu ja tiivistyy hyvin. Kerrospaksuus on yleensä 80-120 mm. (Tiehallinto 2007f.)

Komposiittistabilointi (KOST)

Komposiittistabiloinnissa sideaineena käytetään bitumisia ja hydraulisia sideaineita samassa kerroksessa. Komposiittistabiloinnin tarkoituksena on hyödyntää molempien sideaineiden hyvät ominaisuudet. Bitumisen sideaine lisää stabiloinnin joustavuutta ja kestävyyttä epätasaisia painumia ja routanousuja vastaan. Hydraulinen sideaine parantaa taas stabiloinnin deformaatiokestävyyttä. Vähäisellä hydraulisen sideaineen lisäyksellä lisätään massan alkulujittumisnopeutta, sidotaan ylimääräistä vettä, parannetaan deformaatiokestävyyttä ja lisätään jäykkyyttä. Bitumin ja sementin suhde massassa on noin 3:1. Komposiittistabilointi voidaan tehdä asema- tai paikallasekoitusmenetelmällä. Paikallasekoitusmenetelmässä tie esijyrsitään, muotoillaan ja tiivistetään, minkä jälkeen sen päälle levitetään sementti tai jokin muu hydraulinen sideaine. Bitumi lisätään lopuksi normaaleilla bitumistabilointimenetelmillä, joko vaahdotettuna tai emulsiona. (Tiehallinto 2007f.)

Masuunihiekkastabilointi (MHST)

Masuunihiekkastabiloinnissa sideaineena käytetään terästeollisuuden sivutuotetta masuunihiekkaa. Masuunihiekan kemiallinen koostumus vastaa sementin koostumusta, minkä vuoksi masuunihiekkastabilointi muistuttaa ominaisuuksiltaan sementtistabilointia. Masuunihiekan sitoutumisreaktio on hitaampi kuin sementillä. Tarvittaessa voidaan sitoutumisreaktiota nopeuttaa käyttämällä sementtiä aktivaattorina. Jos sementtiä käytetään lujittumisen aktivoimiseksi, käytetään stabiloinnista lyhennettä MHST-A. Masuunihiekkastabilointi tehdään yleensä paikallasekoitusmenetelmällä. Muotoillun ja tiivistetyn stabilointikerroksen päälle levitetään masuunihiekka ja aktivaattorina toimiva sementti, jotka sekoitetaan kerrokseen stabilointijyrsimellä. Lopuksi kerros muotoillaan ja tiivistetään. (Tiehallinto 2007f.)

Sementtistabilointi (SST)

Sementtistabiloinnissa sekoitetaan keskenään sementtiä, vettä ja stabiloitavaa kiviainesta. Vesi ja sementti muodostavat sementtiliiman, joka kovettuessaan sitoo kiviainesraakeet toisiinsa. Sidoksen lujuuteen vaikuttavat sementin laatu ja pitoisuus, vesi-sementtisuhde, kiviaineksen rakeisuus ja stabilointikerroksen tiiveys ja ikä. Sementtistabilointi voidaan valmistaa asema- ja paikallasekoitusmenetelmällä. Paikallasekoitusmenetelmässä esitiivistetyn ja muotoillun kerroksen päälle levitetään sementtiä joko jauheena tai lietteenä. Sementti sekoitetaan stabiloitavaan kerrokseen stabilointijyrsimellä, minkä jälkeen kerros muotoillaan ja tiivistetään. (Tiehallinto 2007f.)

Geovahvisteet/Teräsverkot

Rakennetta voidaan lujittaa geovahvisteiden ja teräsverkkojen avulla. Yleisimpiä geovahvisteita ovat lujiteverkot, joita valmistetaan synteettisistä raaka-aineista polyesteristä, polyeteenistä ja polypropeenista. Näistä kestumuovilajeista valmistetaan verkkoja kutomalla, rei'ittämällä ja esijännittämällä. Geovahvisteilta vaadittavia ominaisuuksia ovat verkon silmäkoko, kuumuuden kestävyys, sallittu venymä ja vetolujuus. Geovahvisteilla vaikutetaan rakenteen jännitys-muodonmuutoskäyttäytymiseen siten, ettei rakenne murru käytössä. Geovahvisteet asennetaan tierakenteen sisälle vastaanottamaan vaurioita aiheuttavia jännityksiä. (Väisänen 2001.)

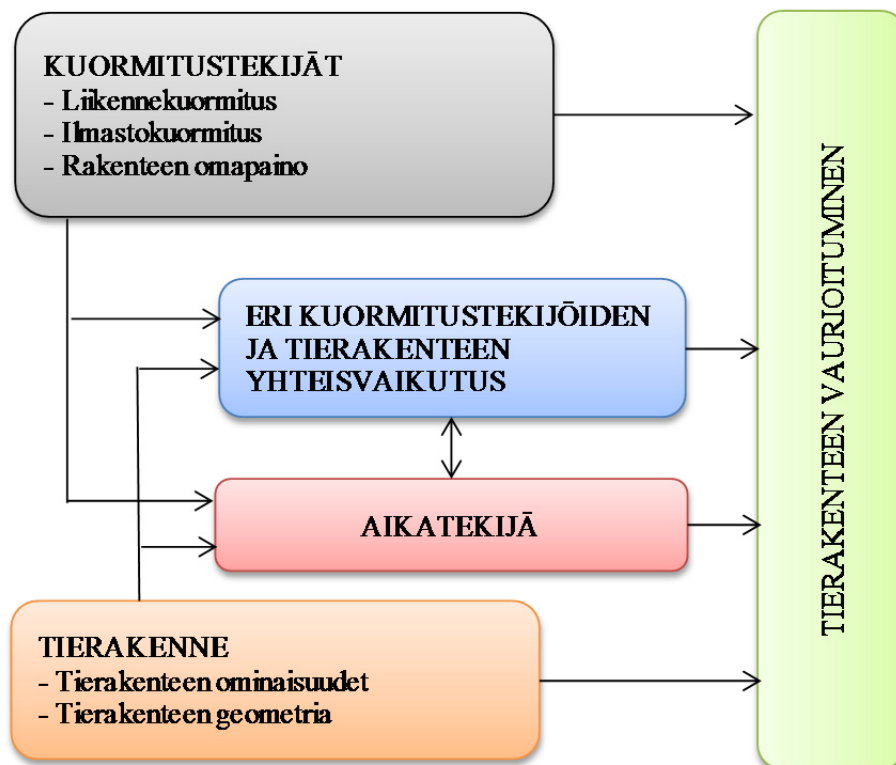
Teräsverkkoja käytetään Suomessa lähinnä routimisen aiheuttamien vaurioiden ja halkeaminen estämiseen. Teräsverkkojen käytöllä voidaan vähentää tierakenteeseen syntyviä pysyviä muodonmuutoksia, sidottujen kerrosten väsymistä ja routanousun aiheuttamia halkeamia. Teräsverkkoja käytetään teillä, joilla on puutteellinen kuormituskestävyys tai routamitoitus. Teräsverkot eivät poista vauriota aiheuttavaa syytä, vaan ainoastaan routanousuista aiheutuvien pituushalkeamien syntymisen. Routanousua syntyy, kun tien reunassa oleva lumikerros suojaa routaantumiselta toisin kuin keskellä tietä. Tierakenteessa teräsverkot tasaavat rakenteeseen syntyviä jännityksiä ja estävät halkeamien syntymisen. Teräsverkkojen asentamisessa on otettava huomioon verkkojen vaikutukset muiden kunnostamismenetelmien käyttöön. Teräsverkko voi estää sekoitusjyrsinnän tai Remix- päällystämisen. Hyvä kuivatus mahdollistaa teräsverkkojen vähäisen korroosion ja sen myötä pitkän kestoian. (Kanerva-Lehto 2009.)



Kuva 19. Teräsverkkojen ja geovahvisteiden asentaminen. (Tiehallinto 2009, Sara 2012).

2.5 Tien kunto ja vaurioituminen

Tierakenteen ja materiaalien toimintaan vaikuttavat kuormitusten aiheuttamat jännitykset ja muodonmuutokset. Myös se, miten hyvin rakenne ja materiaalit kestävät syntyviä rasituksia, vaikuttaa tien toimintaan. Tierakenteeseen syntyy rasituksia liikenteen ja ilmastokuormituksen sekä rakenteen oman painon seurauksena. Rasitusten seurauksena tie vaurioituu. (Tiehallinto 2002a.)



Kuva 20. Tierakenteen vaurioitumisen osatekijät. (Tiehallinto 2002a)

Liikennekuormitusten aiheuttamat vauriot

Liikennekuormituksen aiheuttamia vaurioita ovat rakenteen väsymisvauriot ja tien epätasaisuuden kasvaminen. Väsymisvauriot ovat toistuvien liikennekuormitusten aiheuttamien vetojännitysten aikaansaamia tierakenteen vaurioita. Väsymisvaurioiden syynä on liian suuri liikenteenkuormitus rakenteen kestävyyyteen nähden. Asfalttipäällysteessä väsyminen aiheuttaa päällysteen jäykkyyden pienenemistä. Päällysteen jäykkyyden pienentyminen heikentää koko tierakenteen toimintaa. Väsymisvauriot näkyvät päällysteessä pääosin ajourien kohdalta alkavista pituushalkeamista, jotka vaurioitumisen edetessä kehittyvät verkkohalkeamiksi. (Ehrola 1996.)

Tien poikkisuuntainen epätasaisuus ilmenee liikenteen ajolinjojen kohdille syntyvänä urautumisena. Asfalttipäällysteen urautumiseen vaikuttavat:

- Päällysteen plastinen deformaatio
- Päällysteen tiivistyminen ja kuluminen
- Sitomattomien kerrosten ja alusrakenteen pysyvät muodonmuutokset

Suomessa merkittävin urautumisen syy on nastarenkaiden aiheuttama kuluminen. Ominaisurautuminen kuvaa urasyvyyden ja uran poikkipinta-alan vuotuista muutosta keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) 1000 ajoneuvoa kohden. Asfalttipäällysteisillä teillä urasyvyys kasvaa 0,35 mm vuodessa ja uran poikkipinta-ala kasvaa 500 mm² vuodessa, kun KVL on 1000 ajon/vrk. (Ehrola 1996.)

Tien pituussuuntaisen epätasaisuuden syntymiseen vaikuttavat liikennekuormitus, ympäristörasitus sekä tierakenteen laatu ja toiminta. Eri tekijöiden osuutta vaurioista on vaikea arvioida. Routiminen on yleensä yleisin syy pituussuuntaisiin epätasaisuusvaurioihin. Tierakenteen laatuun ja toimintaan liittyviä vaurioita aiheuttavat (Ehrola 1996.):

- Pohjamaan painuminen pehmeiköillä
- Alusrakennemateriaalien ja olosuhteiden vaihtelut
- Tierakenteessa olevat epäjatkuvuuskohdat (rummut yms.)
- Päällysrakenteen epähomogeenisuus (rakennepaksuuksien vaihtelut, materiaalien vaihtelut, epätasainen tiivistys yms.)

Tien routimisen aiheuttamat vauriot

Tien routiminen vaikuttaa tiehen kahdella eri tavalla. Routivan alusrakenteen jäätyessä tiehen syntyy routanousuja ja rakenteen sulaessa tien kantavuus alenee. Routanousut ovat usein epätasaisia, mikä johtuu alusrakenteen routimisominaisuuksien ja routimisolojen eroista tien pituus- ja poikkisuunnassa. Lisäksi tierakenteessa olevat epäjatkuvuuskohdat kuten rummut ja päällysrakennepaksuudessa tapahtuvat muutokset aiheuttavat epätasaisia routanousuja. (Ehrola 1996.)

Tien routimisen aiheuttamia vaurioita ovat erilaiset halkeamat ja tien epätasaisuuden kasvaminen. Halkeamia syntyy pääosin epätasaisen routimisen takia. Epätasainen routanousu aiheuttaa suurimmaksi osaksi tien epätasaisuuden lisääntymisen. Routan sulassa tien kantavuus alenee, jolloin tierakenteen kuormituskestävyys pienenee. Liiken-

teen kuormitus aiheuttaa vaurioita helpommin, jolloin lisääntyvät tien painuminen, urautuminen ja halkeileminen. (Ehrola 1996.)

Lämpötilan muutosten aiheuttamat vauriot

Lämpötilan muutosten aiheuttamia vaurioita ovat pakkashalkeamat ja toistuvista lämpötilan muutoksista aiheutuvat väsymishalkeamat. Pakkashalkeamat syntyvät talvella, kun päällysteen lämpötila laskee ja päällysteeseen syntyy termisiä vetojännityksiä. Termisiä vetojännityksiä syntyy, kun päällyste pyrkii kutistumaan lämpötilan laskiessa. Lämpötilajännitysten muodostumiseen vaikuttaa myös asfaltin viskoelastisuudesta johtuva jännitysten relaksoitumisilmiö. Korkeissa lämpötiloissa (+20 C°) termiset jännitykset häviävät relaksoitumisen takia lähes kokonaan. Matalimmissa (alle +20 C°) lämpötiloissa jännitysten relaksoituminen on rajoittunutta ja alhaisissa pakkaslämpötiloissa relaksoituminen on enää vähäistä. Terminen väsymishalkeilu tapahtuu silloin, kun päivittäiset lämpötilaerot ovat suuria. Päällysteeseen syntyy vetojännityssyklejä, jotka ovat kuitenkin alhaisempia kuin päällysteen vetolujuus. Materiaalin vähitellen väsyessä siihen syntyy halkeilua. Asfalttipäällysteiden terminen väsymishalkeilu ei ole ongelma Suomessa, kun taas pakkashalkeilu on merkittävä ongelma. (Ehrola 1996.)

Heijastushalkeamat

Heijastushalkeilu tarkoittaa päällystekerroksen alapuolisissa kerroksissa olevien tai sinne syntyvien halkeamien kulkeutumista tien pintaan. Heijastushalkeilu on yleistä maabetonirakenteilla, mutta sitä voi tapahtua myös tavanomaisilla tierakenteilla uudelleen päällystämisen yhteydessä. (Tiehallinto 2002a.)

Kuntomittarit

Kuntomittareiden avulla arvioidaan tien kuntoa ja korjaustarvetta. Päällystettyjen teiden kuntomittareina toimivat urasyvyys, tasaisuus ja vauriot. Kuntoa mitataan säännöllisin väliajoin ja joitakin kuntomittareita käytetään myös uusien päällysteiden laadun arvostelussa. (Tiehallinto 2005d.) Vähäliikenteisten teiden heikkokuntoisuutta kuvaa parhaiten pituussuuntainen epätasaisuus IRI, ajourien välisen harjanteen korkeus ja tienkäyttäjien vauriosumma. Pituussuuntainen epätasaisuus vaikuttaa palvelutasoon, harjanteen korkeus vaikuttaa tien liikenneturvallisuuteen ja tienkäyttäjien vauriosumma kuvaa tien ajomukavuutta (Tiehallinto 2005a.). Muita tien kunnosta kertovia tunnuslukuja ovat kantavuus, karkeus, heitot, sivukaltevuus ja vesiura (Tiehallinto 2007d).

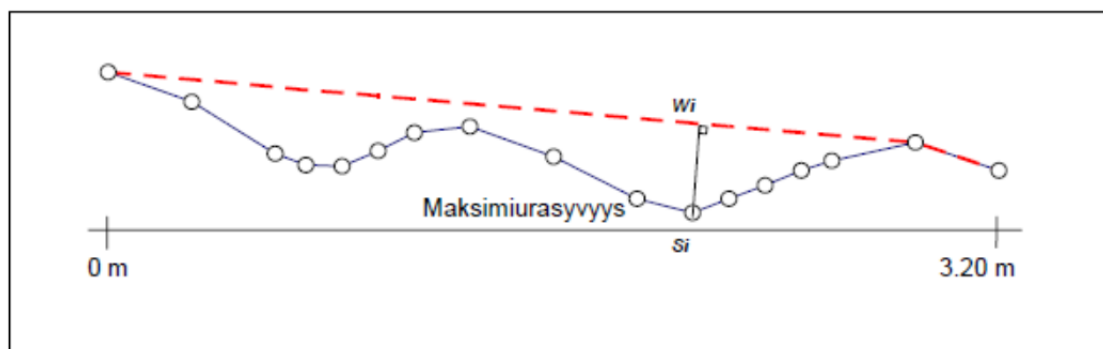
Päällystettyjen teiden yhtenäinen kuntoluokitus on laadittu tasaisuuden, urasyvyyden ja vaurioiden perusteella. Vilkasliikenteisillä teillä luokitukseen vaikuttavat kaikki kolme tekijää urasyvyyden ollessa määräävin. Vähäliikenteisillä päällystetyillä teillä kuntoluokituksessa käytetään tasaisuutta ja vaurioita, joista vaurioiden rooli on määräävä. Raja-arvot luokituksessa vaihtelevat nopeusrajoituksen ja liikennemäärien perusteella. Tien kuntoluokka (taulukko 12) määräytyy tasaisuuden, urasyvyyden ja vaurioiden huonoimman luokan perusteella. (Tiehallinto 2005d.)

Taulukko 12. Päälystettyjen teiden kuntoluokkien kuvaukset. (Tiehallinto 2005d)

Erittäin hyvä	<i>Tie on uusi, juuri päälystetty tai muutoin erittäin hyvässä kunnossa suhteessa liikennemäärään ja ajonopeuksiin. Ylläpitotarpeita ei ole.</i>
Hyvä	<i>Tie on normaalisti kulunut mutta hyvässä kunnossa suhteessa liikennemäärään ja ajonopeuksiin. Ylläpitotarpeita ei ole.</i>
Tyydyttävä	<i>Tiellä on jo epätasaisuutta tai vaurioita, mutta kunto on tyydyttävä suhteessa liikennemäärään ja nopeustasoon. Huonokuntoisempien tiejaksojen yhteydessä näiden tiejaksojen ylläpitotoimet ovat kuitenkin jo perusteltuja.</i>
Huono	<i>Tien pintakunto on liikennemäärä ja ajonopeudet huomioon otettuina korjausta edellyttävässä kunnossa. Ylläpitotoimenpiteet kohdistetaan ensisijaisesti tämän kuntoluokan teille.</i>
Erittäin huono	<i>Tie on erittäin epätasainen tai vaurioitunut ja suhteessa liikennemäärään ja ajonopeuksiin "hävettävän" huonossa kunnossa. Päälyste on perusteltua korjata tai purkaa pikaisesti.</i>

Urasyyvyys

Urasyyvydellä tarkoitetaan tien poikkisuuntaista epätasaisuutta, jonka mittarina käytetään uran syvyyttä millimetreissä. Urasyyvyden maksimiarvojen keskiarvoa sadalla metrillä (URAm_{ax}) käytetään kuntokriteerinä pääteillä ja vilkasliikenteisillä teillä, missä urat ovat pääasiallisin toimenpiteiden syy. Tien urautumisen kaksi tärkeintä syytä Suomessa ovat nastarenkaiden aiheuttama kuluminen ja raskaan liikenteen aiheuttama deformaatio. Urasyyvyys mitataan palvelutasomittausautolla (PTM- auto). Urasyyvyys mitataan vilkasliikenteisiltä teiltä vuosittain ja vähäliikenteisiltä teiltä joka kolmas vuosi. Mittaustulokset ovat näkyvillä kuntorekisterissä. (Tiehallinto 2004d.)



Kuva 21. Maksimiurasyyvyden määrittäminen. (Tiehallinto 2007d)

Maksimiurasyvyys lasketaan kaavalla:

$$URAm_{\max} = \max(W_I - S_I), I = 1 - 17 \quad (2)$$

W_I = langan korkeus mittauspisteessä I

S_I = tien pinnan korkeus mittauspisteessä I

I = poikkisuuntaisten mittauspisteiden lukumäärä

Taulukko 13. Päälystettyjen teiden kuntoluokitus urasyvyyden mukaan vähäliikenteisillä teillä. (Tiehallinto 2005d)

KVL	Nopeusrajoitus	Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
ajon/vrk	km/h	mm				
350 -1499	100	≤ 7,0	7,1 -11,0	11,1 -15,0	15,1 -20,0	≥ 20,0
	80	≤ 7,0	7,1 -12,0	12,1 -16,0	16,1 -21,1	≥ 21,0
	≤ 60	≤ 7,0	7,1 -13,0	13,1 -18,0	18,1 -22,0	≥ 22,0

Tasaisuus

Tien pituussuuntaista tasaisuutta kuvaa kansainvälinen tasaisuusindeksi IRI (International Roughness Index). IRI kuvaa auton käyttäytymistä suhteessa tien pinnan epätasaisuuteen. Tunnusluvun avulla pyritään arvioimaan tien kuntoa ja ajomukavuutta. Tasaisuus mitataan mittausajoneuvoihin sijoitetuilla järjestelmillä, jotka tuottavat mekaniikan, optiikan ja lasertekniikan avulla yksityiskohtaisen kuvan tien pinnasta. IRI-mittaus on erittäin luotettava ja eri aikoina ja eri alueilla mitatut arvot ovat hyvin verrattavissa keskenään. (Tiehallinto 2004d.)

IRI -arvo lasketaan yleensä sadan metrin matkalle PTM -autolla. Ongelmana sadan metrin IRI- arvossa on, että yksi suuri heitto saa saman arvon kuin monta pientä heittoa. Tasaisuudelle on myös määritetty muita tunnuslukuja, jotka kuvaavat yksittäisiä heittoja paremmin. Tunnusluvuissa IRI määritetään myös lyhyemmille jaksoille esim. 10mIRI, 5mIRI. (PANK 2004.)

IRI mitataan kahdella eri suureella:

- IRI, kansainvälinen tasaisuusindeksi, aallonpituudet 0,5-50 m, yksikkö mm/m
- IRI-4, kuten IRI, mutta käsitellään vain alle neljän metrin aallonpituuksia. Kehitetty Suomessa uusien päällysteiden laadunvalvontaan.

Mittaukset tehdään tien oikean ajouran tai sen oletetun paikan kohdalta. IRI lasketaan pituussuuntaisesta profiilista laittamalla ”Golden Car” -jousitusparametreillä varustettu ajoneuvo kulkemaan 80 km/h vakionopeudella mitattua profiilia pitkin (PANK 2004.)

IRI lasketaan ”Quarter Car Simulator” -parametreja käyttäen seuraavasti:

$V = 80 \text{ km/h}$	(simuloinnin ajonopeus)
$k_t / M = 653 \text{ s}^{-2}$	(renkaan jousivakio/ rungon massa)
$k_s / M = 63,3 \text{ s}^{-2}$	(jousituksen jousivakio/ massa)
$u = 0,15$	(pyörän massa/ rungon massa)
$c = 6,00 \text{ s}^{-1}$	(iskunvaimenninvakio/ massa)

Taulukko 14. Päälystettyjen teiden kuntoluokitus IRI:n perusteella vähäliikenteisillä teillä. (Tiehallinto 2005d)

KVL	Nopeusrajoitus	Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
ajon/vrk	km/h	mm/m				
350 -1499	100	< 1,2	1,21 -2,2	2,21 -3,2	3,21 -4,4	> 4,4
	80	< 1,4	1,41 -2,4	2,41 -3,8	3,81 -5,0	> 5,0
	≤ 60	< 1,6	1,61 -3,0	3,01 -4,6	4,61 -5,8	> 5,8
< 350	100	< 1,4	1,41 -2,6	2,61 -4,0	4,01 -4,8	> 4,8
	80	< 1,6	1,61 -2,8	2,81 -4,6	4,61 -5,8	> 5,8
	< 60	< 1,8	1,81 -3,4	3,41 -5,4	5,41 -6,6	> 6,6

Vauriot

Vauriosumma kuvaa tien pinnassa olevien vaurioiden kokonaismäärää. Vauriosummas-
sa lasketaan, kuinka monta neliometriä päällysteestä on vaurioitunut sadan metrin mat-
kalla. Vauriosummassa eri vaurioilla on eri painokertoimet niiden haitallisuuden perus-
teella. Vauriosumma lasketaan keväisin roudan sulamisen aikaan, joko visuaalisella
menetelmällä PVI tai automaattisella menetelmällä Vaurioitumisnopeuden perusteella
tiet voidaan jakaa hitaasti ja nopeasti vaurioituvii. (Tiehallinto 2004d.)

Vaurioinventointi on havainnointimenetelmänä subjektiivinen ja riippuu arviointitilan-
teen oloista. Vaurioiden vakavuuteen vaikuttaa mm. halkeamien leveys, jota on hankala
määrittää silmämääräisesti. Vauriot tulevat näkyviin eri oloissa eri tavoin (kosteus, va-
laistus jne.). Myös vaurioinventoinnin ajankohta vaikuttaa inventointiin. Tien pinnassa
olevat halkeamat muuttavat muotoaan ja kokoaan routimisen, painumisen ja päällysteen
deformoitumisen seurauksena. Vaurioinventoinnin luotettavuus on selvästi huonompi
kuin muiden kuntomuuttujien mittausmenetelmien. Taulukossa 15 ovat nopeasti vauri-
oituvan tien raja-arvot eri päällysteillä. Vauriokehitys lasketaan kaavalla (4). (Tiehallin-
to 2004d.)

Taulukko 15. Nopean vaurioitumisen raja-arvot. (Tiehallinto 2005f)

Päällystetyyppi	Vauriokehitys $m^2/v^{1,4}$
AB	> 4
PAB-B	> 5
PAB-V	> 6

Päällystettyjen teiden kunnon seurannassa siirryttiin vuoden 2011 aikana päällystevauriokartoitukseen (PVK), jossa vaurioita inventoidaan visuaalisesti. Päällystevauriokartoituksessa toimenpidetarvetta arvioidaan yhtenä kokonaisuutena koko päällysteen leveydeltä, eikä yksittäisiä vauriotyyppejä eritellä. Vauriot inventoidaan sähköisellä tiedonkeruulaitteella autosta, jossa hyödynnetään GPS -järjestelmää. (Kuosmanen 2011.)

Taulukko 16. Päällystettyjenteiden kuntoluokitus vauriosumman perustella vähäliikenteisillä teillä. (Tiehallinto 2005d)

KVL	Nopeusrajoitus	Erittäin hyvä	Hyvä	Tyydyttävä	Huono	Erittäin huono
ajon/vrk	km/h	m ² /100 m				
350- 1499	100	≤ 5,0	5,1 -35,0	35,1 -90,0	90,1 -130,0	≥ 130
	80	≤ 5,0	5,1 -40,0	40,1 -100,0	100,1 -140,0	≥ 140
	≤ 60	≤ 10,0	10,1 -45,0	45,1 -110,0	110,1 -150,0	≥ 150
< 350	100	≤ 10,0	10,1 -55,0	55,1 -130,0	130,1 -180,0	≥ 180
	80	≤ 10,0	10,1 -65,0	65,1 -140,0	140,1 -190,0	≥ 190
	≤ 60	≤ 10,0	10,1 -70,0	70,1 -150,0	150,1 -200,0	≥ 200

Taulukko 17. Päällystetyn tien vauriotyypit. (Tiehallinto 2002a)

Päätyyppi	Alatyypit
Halkeama	Poikkihalkeama
	Pituushalkeama
	Vinohalkeama
	Saumahalkeama
	Verkkohalkeama
Epätasaisuus	Pituussuuntainen epätasaisuus
	Poikkisuuntainen epätasaisuus
Hajoamisvauriot	Purkauma
	Reikä

Kantavuus

Kantavuutta kuvataan tien pinnan taipumasta lasketulla kevätkantavuudella sekä kantavuusasteella, joka on mitatun kantavuuden suhde tavoitekantavuuteen. Teiden kantavuutta seurataan myös monilla muilla tunnusluvuilla (BCI, SCI, E2). Kantavuutta on mitattu aiemmin pudotuspainolaitteella (FWD) viiden vuoden välein tiestön kunnon seurannassa. Laite kohdistaa tiehen 50 kN kuormituksen, jonka aiheuttama taipuma mitataan seitsemällä anturilla. Mitatusta ja lämpötilakorjasta maksimitaipumasta määritetään kevätkantavuuskertoimilla todellinen kevätkantavuus. Kevätkantavuutta verrataan kuormituskertaluvun ja suunnittelustandardien perusteella laskettuun tavoitekantavuuteen ja lasketaan kantavuusaste, joka on näiden kahden arvon suhde. Kantavuudelle ei ole määritetty varsinaista kuntoluokitusta. Tavoitekantavuus on vähäliikenteisillä teillä 130 MN/m² ja vilkasliikenteisillä teillä 420 MN/m². Kantavuusaste vaihtelee yleensä välillä 50- 200 %. (Tiehallinto 2004d.)

Heitot

Heittoja on kahta eri tyyppiä: pituus- ja sivuttaisheittoja. Heitot määritellään molempien ajourien tasaisuustietojen avulla. Oikean ja vasemman ajouran mittaustulosten erotuksen perusteella heitot määritetään pituus- sivuttaissuuntaisiksi. Pituus- ja sivuttaisheitto-riskin tarkistukset tehdään PTM- mittauksen 10 m tuloksille ja jos ne jossain ylittävät raja-arvon (taulukko 18), merkitään se riskin aiheuttavaksi kohdaksi. Kuntorekisteriin on talletettu tiedot riskiksi tunnistettujen heittojen lukumäärästä jokaiselle mitatulle sadalle metrille. (Tiehallinto 2007d.)

Taulukko 18. Vakavien sivuttais- ja pituusheittojenriskien raja-arvot. (Tiehallinto 2007d)

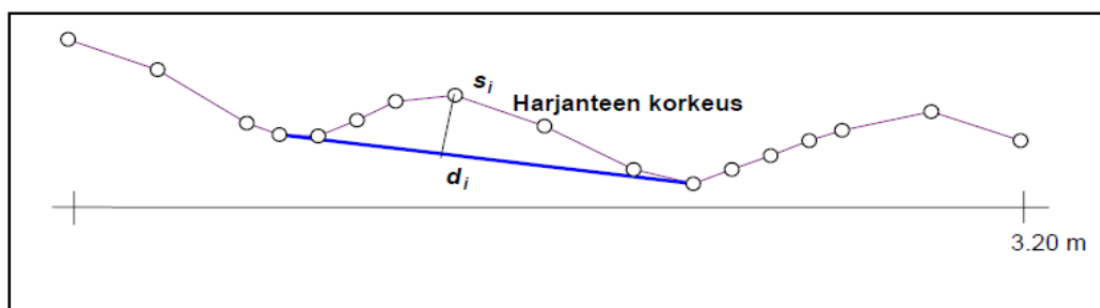
Vakava sivuttaisheitto-riski IRI10	Vakava pituusheitto-riski IRI10
IRI-max > 11,4 mm/m ja oikea/vasen erotus > 5,9 mm/m	IRI-max > 11,4 mm/m ja oikea/vasen erotus < 5,9 mm/m
1 -3 m tasaisuuden maksimi > 3,2 mm ja oikea/vasen erotus > 1,9 mm	1 -3 m tasaisuuden maksimi > 3,2 mm ja oikea/vasen erotus < 1,9 mm
3 -10 m epätasaisuuden maksimi > 5,7 mm ja oikea/vasen erotus > 3,2 mm	3 -10 m epätasaisuuden maksimi > 5,7 mm ja oikea/vasen erotus < 3,2 mm

Harjanteen korkeus

Vähäliikenteisillä teillä tien poikkileikkaus on kapea, tiet ovat mutkaisia ja poikkiprofiili voi olla epämääräinen. Liikenteen aiheuttama kuormitus ei aiheuta tiehen uria samalla tavalla kuin vilkasliikenteisillä teillä, vaan ongelmat syntyvät ilmastosta ja rakenteen heikosta kestävydestä. Harjanteen korkeus kuvaa tien rakenteen kuormitus-

kestävyyttä ja harjanteen korkeuden kasvunopeuden avulla voidaan arvioida tien rakenteen parantamistoimenpiteen otollinen ajankohta. (Tiehallinto 2007d.)

Harjanteen korkeus saadaan PTM -autolla mitatusta tien poikkiprofiilista vetämällä viiva vasemman ja oikean ajouran pohjien välille. Harjanteen korkeus on suurin ero mitatun profiilin ja leikkaavan viivan välillä. Jos ajourien pohjaa ei pystytä määrittämään, käytetään laskennassa 5. ja 13. laserin arvoja. Harjanteen korkeus on positiivinen, jos leikkaava linja on tien pinnan alapuolella ja negatiivinen, jos linja on tien pinnan yläpuolella. (Tiehallinto 2007d.)



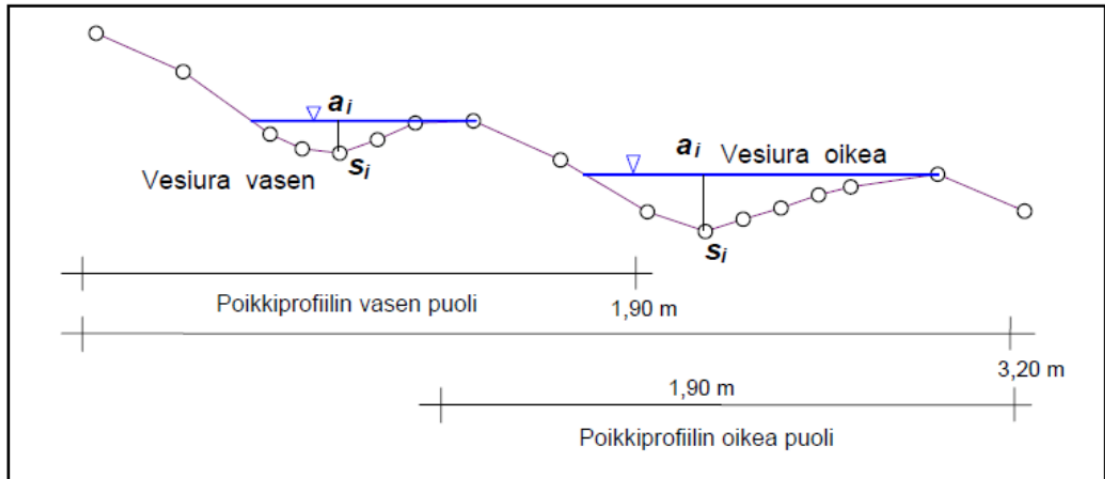
Kuva 22. Harjanteen korkeus. (Tiehallinto 2007d)

Taulukko 19. Harjanteen korkeuden raja-arvot vähäliikenteisellä tiellä. (Tiehallinto 2007d)

Harjanteen korkeus	
< 20 mm	Normaaleja poikkileikkauksen arvoja
20 -40 mm	Tien poikkileikkauksessa vikaa
> 40 mm	Ajamista häiritsevä puute tien poikkileikkauksessa
Kasvunopeus > 5 mm/v	Suuri vuosimuutos on merkki tien rakenteessa tapahtuvista muutoksista

Vesiura ja lätäköitymisriski

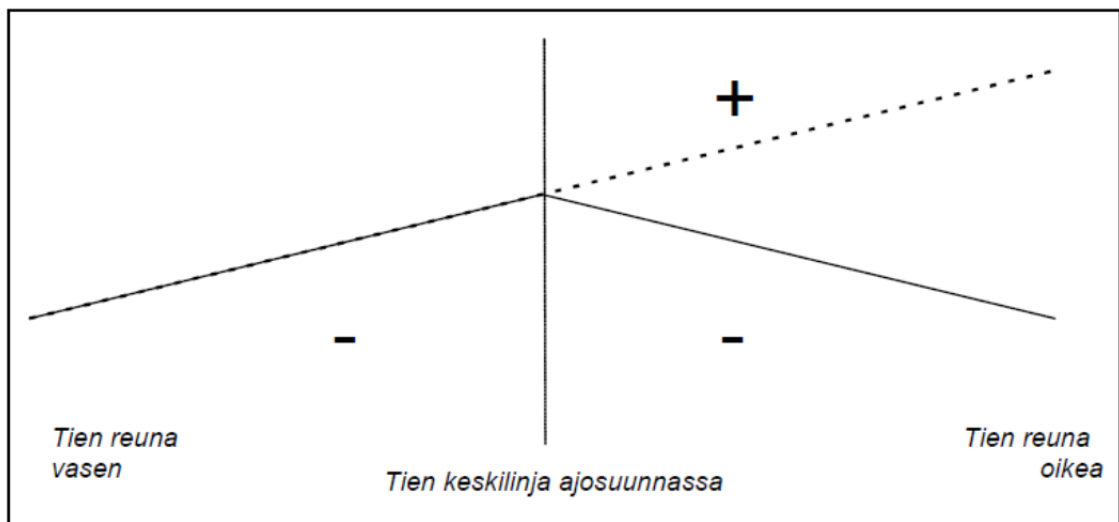
Vesiura on muuttuja, joka kuvaa tien turvallisuutta ja ajomukavuutta. Vesiliirtoriskin suuruuteen vaikuttavat vesiuran ja rengaskuvion syvyys sekä sateen kesto ja rankkuus. Vesiuran arvo määritetään ajoradan vasemmalta ja oikealta puolelta. PTM -autolla mitattuun poikkiprofiilitietoon yhdistetään myös pituusprofiili veden urassa pysymisen määrittämiseksi. Vesiura noudattaa hyvin paljon urasyvyyyttä eli urasyvyyden kasvaessa vesiura kasvaa myös. Vesiura -muuttuja toimii huonosti 100 m raportointivälin keskiarvona, minkä vuoksi on kehitelty lätäköitymisriski -muuttuja. Lätäköitymisriski on niiden 10 -metristen määrä 100 metrillä, joilla oikea tai vasen vesiura on yli 10 mm pituuskaltevuuden ollessa 1,5....-1,5 %. (Tiehallinto 2007d.)



Kuva 23. Vesiuran määrittäminen ajouralta. (Tiehallinto 2007d)

Sivukaltevuus

Sivukaltevuus kuvaa tien poikittaista kallistumaa ja tien pinnan veden poisjohtamiskykyä. Väärä sivukaltevuus lisää ajoneuvojen suistumisriskiä ja kertoo tien rakenteessa tapahtuvista haitallisista muutoksista. Sivukaltevuus mitataan PTM -autolla kaltevuusantureiden ja laserarvojen avulla. Sivukaltevuudet voivat olla positiivisia tai negatiivisia (kuva 24). Sivukaltevuus esitetään regressiokaltevuutena, joka lasketaan käyttäen kaikkia laserkameroiden arvoja. Sivukaltevuusarvo tallennetaan kuntorekisteriin keskiarvona 50 metrin osuuksilta. (Tiehallinto 2007d.)



Kuva 24. Sivukaltevuuden etumerkin määrytyminen. (Tiehallinto 2007d)

Taulukko 20. Sivukaltevuuden raja-arvot. (Tiehallinto 2007d)

Sivukaltevuus %	Kommentti
+ / - 3,0	Suosittelva sivukaltevuus suorilla ja tasausviivan pyöristyskohdilla
+ / - 3,0 - 4,0	Suosittelva kaksipuolinen sivukaltevuus kaarteissa, joiden säde on 400 - 1300 m, nopeusrajoitus 50 km/h
+ / - 3,0 - 5,0	Suosittu yksipuolinen sivukaltevuus (kallistus)kaarteissa, joiden säde on 85 -160 m, nopeusrajoitus 50 km/h
+ / - 5,0 -7,0	Suurin suositeltu sivukaltevuus (kallistus), riippuen väylän luokasta
> 7	Sivukaltevuuden arvo, joka todennäköisesti johtuu ajoradan tai tien reunan muodonmuutoksesta

Rakenteen eri parantamistoimenpiteiden vaikutukset vaurioitumisnopeuteen

Rakenteen eri parantamistoimenpiteiden vaikutuksia rakenteen parantamisessa on tutkittu Tiehallinnon julkaisussa Erikoisrakenteiden vaikutukset tierakenteen vaurioitumiseen, joka on julkaistu liitteenä teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa -julkaisussa. Sekoitussjyrsinnän osalta tutkimuksessa käytetty aineisto on ollut liian pieni, jotta toimenpidettä pystyisi täysin vertaamaan muihin tutkimuksessa oleviin toimenpiteisiin. (Tiehallinto 2003b.)

Tutkimuksessa toimenpide on sitä tehokkaampi, mitä pienempi vaikutuskerroin toimenpiteellä on. Toimenpiteen vaikutuskerroin on saatu kaavalla (Tiehallinto 2003b):

$$\text{Vaikutuskerroin} = \text{VS}_{\text{nopTP2}} / (\text{VS}_{\text{nopTP1}} + T \text{ m}^2 / \text{vuosi}^{-1,4}) \quad (3)$$

jossa:

T = 3 AB-tiellä T= 5 PAB -tiellä

VS_{nopTP2}= vaurioitumisnopeus toimenpiteen jälkeen

VS_{nopTP1} = vaurioitumisnopeus toimenpidettä ennen

Taulukossa 21 on tutkimuksessa saatujen eri toimenpiteiden vaikutus rakenteen vaurioitumiseen. Sekoitussjyrsinnän vaikutukset vaurioitumisen vähenemiseen ovat olleet kaikista pienimmät. Lisää taulukoita liitteessä C.

Taulukko 21. Rakenteen eri parantamistoimenpiteiden vaikutus vaurioitumiseen PAB -teillä, kun vaurioitumisnopeus on pieni ja kohteessa ei esiinny leveitä pituushalkeamia. (Tiehallinto 2003b)

Toimenpide	Pituus km	VSnopTP1	VSnopTP2	Vaikutus- kerroin
1 Laatta	80,5	1,1	1,3	0,21
2a Teräsverkko + laattaa	1,8	1,6	1,8	0,27
2b Teräsverkko+ laattaa, raskaampi Tp	3,4	1,7	1,5	0,23
3 Sekoitusjyrsintä	3,5	1,0	3,3	0,54
4 Raskas RP	76,2	1,1	1,0	0,17
5 Masuuni, sementtistabilointi	31,6	1,5	2,5	0,38
6 Bitumistabilointi	0,2	1,2	0,4	0,07
7 Kuonastabilointi	0,2	1,0	2,2	0,37
8 Muu erikoisrakenne	2	1,3	1,5	0,24

Stabilointien ja sekoitusjyrsinnän kustannusten ja kestoiän suhde

Tiehallinnon vuonna 2003 tekemässä selvityksessä vertailtiin eri rakenteen parantamismenetelmien vaikutuksia toimenpiteen kestoiään sekä toimenpiteen kustannustehokkuutta. PAB -teiden vaihtoehtojen kestoiät on arvioitu ottamalla lähtökohdaksi PAB-V -tie, minkä kantavuus on 131 MPa. Parantamisvaihtoehtojen jälkeiset kantavuudet on laskettu Odemarkin menetelmällä ja Tiehallinnon Tietoa tiensuunnitteluun 70A- julkaisun mukaisia kertoimia käyttämällä. Tulokset ovat taulukossa 22. (Tiehallinto 2003d.)

Taulukko 22. Uramalleilla lasketut toimenpidevaihtoehtojen kestoiät. (Tiehallinto 2003d)

Toimenpide	Kantavuus MPa	Kestoiä v	Kunn. kust. lisä €
Lähtötilanne	131	1,8	-
20TAS+teräsverkko+30AB+30AB	211	18,2	0,00
20TAS+kuituverkko+40AB	181	18,2	0,00
SJYR+teräsv.+70M+40AB	169	8,0	2,16
130RESTJ+40PAB	210	9,0	1,73
170KOST+40PAB	213	9,4	1,59
170VBSTJ+40PAB	211	9,1	1,70
190MHST+40PAB	214	9,6	1,52
60PABK+40PAB	211	10,7	1,18
20TAS+60AB	211	9,1	1,70

Toimenpiteiden kestoiät on laskettu Tiehallinnon urautumismalleilla, mitkä löytyvät Tiehallinnon sisäisestä julkaisusta 14/2003. Kunnostuskustannuslisa perustuu toimenpiteelle laskettuun kestoikään ja toimenpiteestä aiheutuviin kunnostuskustannuksiin. Kunnostuskustannuslisa on toimenpidettä seuraavien 40 vuoden aikana tehtyjen seuraavien korjaustoimenpiteiden tarkasteluajankohtaan diskontatuista kustannuksista verrattuna kestävimmän verkkovaihtoehdon kustannuksiin. (Tiehallinto 2003d.)

PAB- teiden vaurioitumismallit

Vaurioitumismalleja käytetään hyväksi tierakenteen suunnittelussa. Vaurioitumismalleja on kahta eri tyyppiä:

- *TP1- mallit, joilla ennustetaan tuleva vaurioitumiskehitys yhden toimenpiteen jälkeen. Näitä käytetään uuden tai raskaasti parannetun tien vaurioitumisen ennustamiseen.*
- *TP2 -mallit, joilla pyritään ennustamaan kunnostuksen vaikutus olemassa olevan tien vaurioitumisnopeuteen.*

Vaurioitumismallien avulla voidaan arvioida kuinka kauan kestää, että vauriomäärä saavuttaa sille asetetun raja-arvon. Vaurioitumismallien tuloksia voidaan käyttää tien mitoituksessa. Vaurioitumismallit on määritetty vauriosummalle, IRI:lle sekä myös urautumiselle kohteissa, joissa KVL on pienempi kuin 800 ajon/d. Vaurioitumisnopeus vauriosummalle lasketaan kaavalla (4), IRI:n kasvunopeus lasketaan kaavalla (5), uran kasvunopeus lasketaan kaavalla (6) ja poikittaisen epätasaisuuden kasvunopeus kaavalla (7). (Tiehallinto 2001b.)

TP2 -tyypin vaurioitumismallit:

$$VSnop = \frac{Vauriosumma}{ikä_D^k} \quad (4)$$

jossa: $k = 1.0, 1.4$ tai 2.0
 $ikä_D$ vähintään neljä vuotta

$$IRInop = \frac{IRI_D - IRI_C}{ikä_D - ikä_C} \quad (5)$$

jossa: $IRI_D \Rightarrow IRI_C$

$$|URAnop| = \frac{|URA_D - 2|}{ikä_D} \quad (6)$$

Uran kasvunopeus lasketaan, kun $KVL < 800$

$$|Petanop| = \frac{|PETA_D - 1|}{ikä_D}$$

3 Tutkimusmenetelmät

3.1 Kenttäkokeet ja koekohteet

Työssä tutkittiin uusia ja vanhoja sekoitusjyrsintäkohteita. Uudenmaan ELY- keskuksen alueella valmistui kesän 2012 aikana 11 sekoitusjyrsintäkohdetta, joiden pituus oli yhteensä noin 68 km (taulukko 23). Suunnitelmatiedot ja aikataulut kohteista saatiin Uudenmaan ELY -keskukselta. Kymmenelle kohteelle tehtiin vaurioinventointi. Yksi kohteista jätettiin inventoimatta, koska vanha päällyste oli soratien pinta (SOP). Inventoinnin tarkoituksena oli kartoittaa tien vauriot ennen sekoitusjyrsintää ja selvittää millaisiin kohteisiin sekoitusjyrsintä oli valittu toimenpiteeksi. Tarkoituksena oli myös luoda edellytykset sekoitusjyrsintöjen vaurioitumisen ja kestoiän pitkäaikaiselle seurannalle.

Tarkempiin tutkimuksiin valittiin kolme kohdetta, joista otettiin maanäytteitä tutkimuksia varten. Niissä kohteissa sekoitusjyrsinnän suoritti eri urakoitsija ja eri sekoitusjyrsin. Kaikista kolmesta kohteesta tutkittiin sekoitusjyrsinnän vaikutuksia kantavan kerroksen rakeisuuteen. Erityisesti haluttiin tutkia eri lisämurskeiden rakeisuuksien vaikutuksia kantavan kerroksen rakeisuuden muuttumiseen. Kohteista otettiin maanäytteitä ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen. Kohteissa käytettyjen lisämurskeiden rakeisuudet saatiin urakoitsijoilta.

Lisäksi kohteissa verrattiin lisämurskeen eri lisäämistapojen vaikutuksia kantavan kerroksen rakeisuuteen ja kantavuuteen. Kohteista otettiin myös näytteitä imupaine- ja Los Angeles-kokeita varten. Tutkittavat kohteet ja lisämurskeiden rakeisuudet ovat:

- Mt 2846, lisämurske KaM 0/32, lisämurske ennen sekoitusjyrsintää
- Mt 2846, lisämurske KaM 0/32, lisämurske sekoitusjyrsinnän jälkeen
- Mt 2846, lisämurske KaM 0/56
- Mt 11491, lisämurske KaM 0/32
- Mt 11363, lisämurske KaM 8/32

Sekoitusjyrsinnän vaikutuksia tien kantavuuteen tutkittiin kohteissa Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka ja Mt 11491 Uusikartano - Palopuro pudotuspainolaitemittausten avulla. Mittaukset tehtiin ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen. Mittausten tuloksista määritettiin sekoitusjyrsitylle materiaalille jäykkyysmoduuli takaisinlaskennan avulla. Samoille kohteille määritettiin maatutkaluotausten avulla rakennekerrosten paksuudet takaisinlaskentaa varten. Samalla tarkistettiin kuinka hyvin sekoitusjyrsinnän jyrsintäsyvyys vastaa suunnitelmissa määritettyä jyrsintäsyvyyttä.

Taulukko 23. Uudenmaan ELY -keskuksen kesän 2012 sekoitusjyrsintäkohteet. (Uudenmaan ELY -keskus 2012, Kuntorekisteri 2012)

Tie	KVL ajon/vrk	Pituus m	Päällysteen paksuus ennen SJYR	Vanha päällyste	Lisämurske mm	Jyrsintä- syvyys mm	Sekoitus- jyrsinnän pituus m
Mt 13844	184 -414	4 982	50	AB	100	300	4 982
Mt 13836	658 -870	3 562	-	PAB-B AB	50 -100	250	3 562
Mt 2855	903 -4391	7 905	50	AB PAB-V	50 -100	250	7 250
Mt 3061	tieosa1 1425 tieosa2 373	12 311	tieosa1 30- 40 tieosa2 30- 120	PAB-B	50 -100 KaM 0/31	300 -350	11 478
Mt 2846	98 -413	9 420	50	AB PAB-B	KaM 0/56 KaM 0/31	200 -300	6 300
Mt 11491	247	4 663	40 -80	PAB-V	50 -100	100- 200	4 541
Mt 13961	tieosa1 409 tieosa2 74 -296	9 922	40 -70	PAB-V	50 -100 KaM 0/31	150 -250	9 877
Mt 1734	304	2 911	-	PAB-B PAB-V	50 -150	150 -250	2 895
Mt 11169	299	6 390	50 -90	PAB-B PAB-V	50-100	200	6 390
Mt 11363	369	3 460	-	PAB-V	KAM 8/32 50-100	250-300	3 460
Mt 13554	110-220	8 140	-	SOP	KaM 0/31 50-100	180 -280	7 730
						Yhteensä	68 467

Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka tieosa 5, Hämeenlinna

Hämeenlinnan kohde oli kokeilukohde, jossa kokeiltiin lisämurskeen kahta eri raekokoa KaM 0/32 ja KaM 0/56 sekä lisämurskeen lisäämistä ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kohteella piti kokeilla lisämursketta KaM 0/45, mutta se vaihdettiin huonon saatavuuden takia karkeampaan KaM 0/56 -lisämurskeeseen. Kohteeseen tehtiin sekoitusjyrsintää yhteensä 6300 metriä. Kohteen rakensi Skanska Asfaltti Oy ja sekoitusjyrsinnän suoritti Andament Oy. Kohteen suunnitteli Road Consulting Oy.

Kohteella oli ennen sekoitusjyrsintää paljon pituushalkeamia ja reunapainumaa, jotka kertovat tierakenteen huonosta kunnosta. IRI -arvot olivat kohteella keskimäärin 5- 6 mm/m ja yksittäiset arvot saattoivat nousta yli 10 mm/m. Urasyvyys oli keskimäärin yli 15 mm ja kohteesta löytyi myös osuuksia, joissa urasyvyys oli 30 mm. Päällysten paksuus oli 50 mm. Paaluvälillä 3650-4700 oli osuuksia, joissa esiintyi kantavuuspuutteita. Tien keskimääräinen kantavuus oli 330 MPa. (Niku 2009.)

Tierakenteessa oli ajoittain vanhoja päällystekerroksia, jotka olivat riittävän syvällä ja ohuita, etteivät ne olleet vaikuttaneet merkittävästi päällysrakenteen vaurioitumiseen. Toimenpiteeksi tieosalle oli suunniteltu sekoitusjyrsintä. Kantavuuspuuteosuuksille oli suunniteltu lisämursketta. (Niku 2009.)

Kohteelle tehtiin vaurioinventointi ennen sekoitusjyrsintää. Lisäksi kohteesta otettiin maanäytteitä rakeisuuden määrittämistä varten ennen sekoitusjyrsintää ja sen jälkeen. Maanäytteitä otettiin myös Los Angeles -koetta ja imupainekoetta varten. Lisäksi kohteelle tehtiin pudotuspainolaitemittaukset ennen sekoitusjyrsintää ja sen jälkeen. Kohteen rakennekerrosten paksuus selvitettiin maatutkaluotausten avulla.

Mt 11491 Uusikartano - Palopuro tieosa 2, Hyvinkää

Toinen kohde sijaitsi Hyvinkäällä, jossa sekoitusjyrsintää tehtiin yhteensä 4 541 metriä. Kohteen suunnitteli Carent Oy ja rakensi NCC Roads Oy. Kohteelle tehdyn maastoinventoinnin mukaan tie kulkee suurimmalta osin peltojen reunustamalla alueella ja pohjamaalaji on savi. Kohteen päällyste oli pahoin vaurioitunut. Tiessä oli pitkiä ja leveitä pituushalkeamia sekä reunapainumaa. Kohteella esiintyi myös paljon kantavuuspuutteita. Lisäksi tiellä esiintyi kohollaan olevia rumpuja, maakiviä ja sivuojat olivat täynnä kasvustoa. Kohteelle asetettu tavoitekantavuus oli 145 MPa. (Marjeta 2011.)

Kohteelle oli suunniteltu parantamistoimenpiteeksi sekoitusjyrsintä, jonka syvyys vaihteli 100–200 mm välillä. Lisämurskekerroksen paksuus vaihteli 50-100 mm välillä. Sekoitussjyrsinnän ja lisämurskeen tarkoituksena oli parantaa tien kantavuutta. Pienintä 100 mm sekoitusjyrsintäsyvyyttä käytettiin paaluvälillä 2990-3045 kalliopinnan läheisyyden takia. Kohteella oli kaksi siltaosuutta, joihin ei tehty sekoitusjyrsintää. Tietä

kavennettiin 6,5 metristä 6,0 metriin osuuksilla, joissa reuna oli repeillyt ja painunut. Lisäksi maakivet poistettiin, rummut korjattiin ja sivuojat perattiin.

Kohteelle tehtiin vaurioinventointi, pudotuspainolaitemittaukset ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen sekä maatutkaluotaus. Kohde valittiin mittauskohteeksi sekoitusjyrsintäsyvyyden ja lisämurskekerrospaksuuksien vaihteluiden takia. Kohteesta otettiin maanäytteitä rakeisuuden määrittämistä sekä imupaine- ja Los Angeles -kokeita varten.

Mt 11363 Pakankylä - Röylä tieosa 1, Espoo

Kolmas kohde sijaitsi Espoossa ja sen rakensi Lemminkäinen ja suunnitteli Road Consulting Oy. Kohteen pituus oli 3 465 m ja koko kohteelle tehtiin sekoitusjyrsintä. Sekoitussjyrsintäsyvyys vaihteli 250 -300 mm välillä ja lisämurskekerroksen paksuus vaihteli 50 – 100 mm välillä. Kohteessa käytettiin lisämurskeena KaM 8/32.

Kohteen päällyste oli pahasti vaurioitunut ja paikkauksia oli paljon. Kohteella oli myös kuivatusongelmia ja luiskakaltevuus oli ajoittain liian jyrkkä. Tien alkuosa oli päällystetty 2003, jolloin mursketta oli lisätty 100 mm. Kohteen loppuosa oli päällystetty ohuella asfalttibetonimassapintauksella vuonna 1996, minkä alle oli jätetty vanha päällyste. (Niku 2008.)

Kohteella mitattu keskimääräinen kantavuus oli 260 MPa. Kohteella oli myös pahoja kantavuuspuutteita. Alin mitattu kesäkantavuusarvo oli 87 MPa. Pohjamaa vaihteli savesta kalliioon. Tierakenteen materiaalit ja paksuudet vaihtelivat paljon. Tien tasausta oli joissakin kohdissa nostettu parantamisen yhteydessä ja vanhat tierakenteet oli jätetty alle. Tierakenne oli myös paikoin sekoittunutta. (Niku 2008.)

Kohteelle tehtiin vaurioinventointi ennen sekoitusjyrsintää. Lisäksi kohteesta otettiin maanäytteitä rakeisuuden määrittämistä varten ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen kahdesta eri sekoitusjyrsintäsyvyydestä. Maanäytteitä otettiin myös imupaine- ja Los Angeles-kokeita varten.

Vanhat kohteet

Vanhoille sekoitusjyrsintäkohteille tehtiin vaurioinventointi. Vaurioinventointien perusteella arvioitiin teiden kuntoa ja vaurioitumista. Lisäksi kuntorekisteristä selvitettiin muita tien kuntoa kuvaavia mittareita, kuten urasyvyys, IRI ja harjanteen korkeus. Vaurioituneista kohteista otettiin maanäytteitä, joiden avulla oli tarkoitus selvittää vaurioitumiseen johtaneet syyt. Kohteet valittiin eri puolilta Suomea ja tiedot kohteista saatiin Andament Oy:ltä. Kaikissa kohteissa sekoitusjyrsintä oli tehty Andamentin kalustolla. Kohteissa oli sekä iäkkäämpiä 8- 9 vuotta vanhoja sekoitusjyrsintöjä että nuorempia 3-4 vuotta vanhoja sekoitusjyrsintöjä. Yhteensä tutkimukseen valittiin kymmenen eri sekoitusjyrsintäkohdetta (taulukko 24). Yksi kohteista on vuonna 2004 toteutettu koekohde, jonne oli rakennettu eri stabilointeja ja sekoitusjyrsintää.

Taulukko 24. Kesällä 2012 tutkitut vanhat sekoitusjyrsintäkohteet. (Andament Oy, Kuntorekisteri 2012, Tiehallinto 2007c)

Tie	Vanha päällyste	Jyrsintäsyvyys mm	Lisämurske kerroksen paksuus mm	KVL ajon/vrk	Pituus m
Pt 12053 Taalintehtaan pt 2003	PAB	150	50	504	2 495
Pt 12645 Vasarainen 2003	PAB	150, 180, 200	50, 80, 100	342	2 880
Mt 7693 Kangaspuro- Haapamäki 2004	PAB	150	6	73	3 026
Pt 18771 Koni 2004	PAB	150-200	6	540	3 113
Mt 11225 Siikala-Pilpala 2008	SMA, AB, PAB-V	100, 150	50-100	696	6 742
Mt 11337 Pirttimäki- Takkula 2008	PAB	100	50	450	5 257
Mt 11891 Liljendal -Rudom 2008	AB, PAB	100, 200	50	717	2 625
Mt 16233 Kirmaranta 2009	AB,PAB	150, 200, 250	KaM 16/56 KAM 0/45* 50-200	119	6 485
Kt 58 Väätäiskylä- Karstula 2009	AB, PAB	150, 300	KaM 0/45 KaM 16/56 200	370 -1260	31 228
Mt 718 Kaitsor- Vöyri 2004	-	350	-	-	200

*Lisämurskeen rakeisuus teräsverkkojen ja rumpujen kohdalla.

MT 718 Kaitsor -Vöyri

Vöyriin koekohde on vuonna 2004 toteutettu koetie, jossa rakennettiin eri stabilointimenetelmiä sekä sekoitusjyrsintää samalle tieosuudelle (taulukko 25). Tie on poikkileikkaukseltaan leveä, luiskat ovat loivat ja ojat ovat syvät ja hyvässä kunnossa. Maaperä alueella on pehmeä. Kohteesta on olemassa tarkat tiedot vauriosummista, tasaisuudesta, urasyvyydestä, sivukaltevuudesta ja kantavuudesta ennen sekoitusjyrsintää sekä sekoitusjyrsinnän jälkeen. Kohteelle tehtiin vaurioinventointi, minkä perusteella arvioitiin

sekoitusjyrsinnän ja eri stabilointimenetelmien eroja tien vaurioitumiseen ja kestoikään. Kohteeseen tehdyn sekoitusjyrsinnän syvyys oli 350 mm ja jyrsintä ulottui kahdessa eri kohdassa suodatinhiekkään asti. Näissä kohdissa arvioitu suodatinkerrosmateriaalin osuus jyrsitystä rakenteesta on noin 10 %. (Tiehallinto 2007c.)

Taulukko 25. Vöyrin koekohteen rakenteen parantamismenetelmät. (Tiehallinto 2007c)

Paalulukema	Stabilointityyppi	Rakenteen paksuus mm	Lisäbitumi %	Koeosuuden pituus m
1900 -2100	REST	100		200
2150 -2350	REST	150		200
2800 -3000	MHST	100		200
3000 -3200	MHST	150		200
4150 -4350	KOST	150		200
4350 -4550	SJYR	350		200
4680 -4980	KOST	100		300
5150 -5475	KOST	100	1	225
5595 -5790	VBST	100		195
5790 -6000	VBST	150		210
6100 -6400	VBST	100	1	300
Seurantaosuuksia				
1600 -1800	REST	PER1		200
2500 -2700	REST	PER2		200
4980 -5140	REST	TS		160

3.1.1 Vaurioinventointi

Työssä tarkasteltiin sekoitusjyrsittyjen kohteiden vaurioitumista vaurioinventoinnin avulla. Teille toteutettiin visuaalinen vaurioinventointi (PVI), jossa sekoitusjyrsittyjen teiden vauriot kirjattiin ylös silmämääräisesti tarkastelemalla. Vaurioinventointi tehtiin Tielaitoksen vuonna 1994 ilmestyneen Päällystevaurioiden inventointiohjeen mukaisesti. Kaikki vauriot (verkko- pituus-, poikki- ja saumahalkeamat, reiät, purkaumat, reunapainumat sekä paikat) merkittiin erikseen metreinä, neliömetreinä tai lukumäärinä. Eri vauriotyypit jaettiin vakavuuden perusteella yhteen tai kahteen eri luokkaan. Inventoitujen vaurioiden perusteella teille laskettiin painotettu vauriosumma (VS) ja tienkäyttäjän vauriosumma (VSt). Vauriosummat laskettiin 100 metriä pitkille tieosuuksille. Vauriosummien yksikkö on m²/100m.

Sekoitusjyrsinnän soveltumista rakenteen parantamistoimenpiteeksi arvioitiin kohteiden vauriokehityksen/vaurioitumisnopeuden perusteella (kaava 8). Vauriokehityksen laskennassa käytettiin vaurioinventoinnissa saatua vauriosummaa, jota verrattiin päälly-

teen ikään. Vauriokehityksen kaavaa käytettiin ainoastaan kohteille, joissa päällysteen ikä oli vähintään neljä vuotta. Vaurioitumisnopeuden perusteella tiet jaettiin hitaasti ja nopeasti vaurioituviiin.

$$\text{Vauriokehitys} = \text{VS} / (\text{Päällysteen ikä})^{1,4} \quad (8)$$

, jossa

VS Vauriosumma [m²/ 100 m]

Tienkäyttäjän vauriosumma

Perinteisen vauriosumman lisäksi kohteista määritettiin tienkäyttäjän vauriosumma (VSt), joka soveltuu paremmin vähäliikenteisten teiden kunnon arvioimiseen. Perinteinen vauriosumma kuvaa huonosti tienkäyttäjän saamaa palvelutasoa vähäliikenteisillä teillä. Pahasti vaurioituneiden teiden vauriosummasta suurin osa aiheutuu verkkohalkeamista, kun taas ajomukavuuteen vaikuttavien reikien ja leveiden halkeamien osuus vauriosummasta on vähäinen. Tienkäyttäjän vauriosumman määrittämisessä käytettiin taulukon 26 painokertoimia. (Tiehallinto 2005a.)

Taulukko 26. Eri vaurioiden painokertoimet vauriosummissa. (Tiehallinto 2005a)

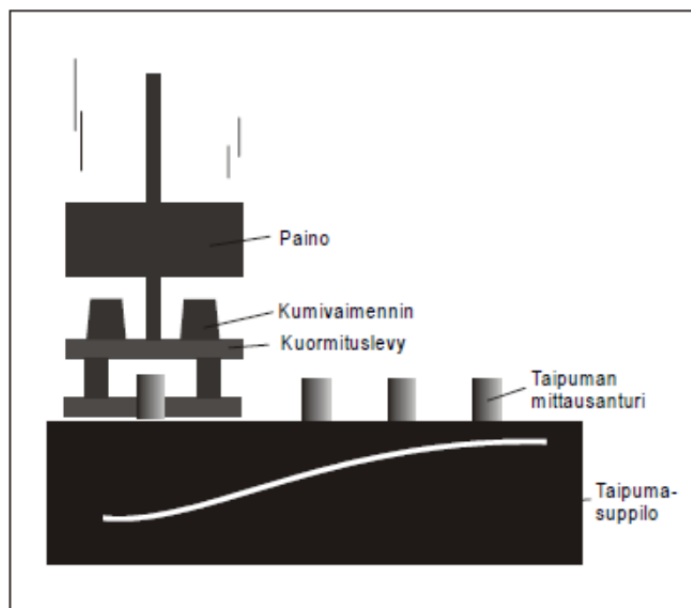
Vauriotyyppi	VS (nykyinen)	VSt (kyselyn ja kuntorekisterin tarkastelun perusteella)
Reunapainuma	1,0	2,0
Purkauma	1,0	-
Reikä	1,0	10,0
Verkkohalkeama	1,0	0,5
Kapeat pituushalkeamat	0,3	0,5
Leveät pituushalkeamat	1,0	2,0
Kapeat saumahalkeamat	0,1	0,5
Leveät saumahalkeamat	0,5	2,0
Kapeat poikkihalkeamat	2,5	8,0
Leveät poikkihalkeamat	5,0	16,0

3.1.2 Pudotuspainolaitemittaukset

Pudotuspainolaitemittausten avulla määritetään tien rakenteen ja sen eri kerrosten materiaalien käyttäytyminen tien pystysuoran siirtymän perusteella. Pudotuspainolaitteen tuloksista voidaan määrittää eri rakennekerrosten jäykkyysmoduulit, jännitykset ja muodonmuutokset. Pudotuspainolaite aiheuttaa tiehen liikennekuormitusta vastaavan

voiman, joka saa tien pinnan taipumisen. Taipuma mitataan kuormituslevyn alla sekä usealla eri etäisyydellä kuormituslevystä, jolloin saadaan selville ns. taipumasuppilo. Taipumasuppilo kuvaa tien kuormituskestävyyttä. Taipumasuppilon muodon perusteella voidaan tien rakennekerrosten materiaaleille määrittää takaisinlaskennan avulla muodonmuutosmoduulit. (Spoof et al. 2000a.) Taipumasuppilon muoto kuormituslevyn läheisyydessä kertoo päällysrakenteen yläosan muodonmuutosominaisuuksista ja kauempana kuormituslevystä tapahtuva taipuma kertoo alusrakenteen laadusta. Jäykällä kantavalla kerroksella taipuma kuormituslevyn alla on pieni ja taipumasuppilon muoto on laakea. Heikolla kantavalla kerroksella taipumasuppilo on jyrkästi laskeva kuormituslevyn läheisyydessä ja taipuma on suuri. (Ehrola 1996.)

Pudotuspainolaittekoeksessa dynaaminen kuormitus saadaan aikaan pudottamalla paino kuormituslevylle. (kuva 25). Paino pudotetaan vaimentimien välityksellä halkaisijaltaan 300 mm kuormituslevylle. Tiehen kohdistuvaa kuormitusta voidaan säädellä pudotuskorkeuden ja painon avulla. Yleisimmin käytetty kuormitus on 50 kN, joka vastaa kuormituslevyn alla 10 tonnin kuorma-auton akselipainoa. Kuormitusaika on noin 20-60 ms. (Spoof et al. 2000a.)



Kuva 25. Pudotuspainolaitteen toimintaperiaate. (Spoof et al. 2000a)

Pudotuspainolaitemittauksia tehtiin kahdessa kohteessa: Mt 2846 Lautaporras - Sillan-taka ja Mt 11491 Uusikartano - Palopuro. Mt 2846:lla pudotuspainolaitemittauksien avulla haluttiin verrata eri lisämurskeen lisäämistapojen ja eri lisämurskeiden rakei-suuksien vaikutuksia tien kantavuuteen. Hyvinkäällä Mt 11491:llä haluttiin tutkia eri sekoitusjyrsintäsyvyyksien ja lisämurskeen kerrospaksuuksien vaikutuksia tien kanta-vuuden paranemiseen.

Pudotuspainolaitemittaukset tehtiin West Coast Road Masters Oy:n KUAB FWD 50 - pudotuspainolaitteella. (kuva 26) KUAB:in taipumamittausanturit ovat toimintaperiaatteen seismometrejä ja kuormitusimpulssinkesto on 22 ms. (Road Masters Oy 2012.) Taipumat mitattiin 0, 200, 300, 450, 600, 900 ja 1200 mm etäisyydeltä kuormituslevysyä. Pudotuspainolaitemittaukset suoritettiin ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen. Mittausten tuloksista määritettiin sekoitusjyrsinnän vaikutukset tien kantavuuteen ja takaisinlaskennan avulla arvioitiin sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyysmoduulia. Mittauspisteiden välinä käytettiin yleensä 50 metriä. Kohdissa, joissa haluttiin tarkempi tieto kantavuudesta, mittauspisteiden välinen etäisyys oli 20 metriä.



Kuva 26. KUAB -pudotuspainolaite, Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka.

3.1.3 Maatutkaluotaus

Maatutkaluotauksia käytetään pohjamaatutkimuksiin, päällysteen ja rakennekerrosten paksuuksien määrittämiseen sekä rakennekerrosten ja pohjamaan laadun ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämiseen. Maatutkaluotaus perustuu radiotaajuisten sähkömagneettisten aaltojen käyttöön. Mittauksissa käytettävät taajuudet vaihtelevat 10-3000 MHz välillä. (Tiehallinto 2004a.)

Maatutka-antennit voidaan jakaa kahteen luokkaan: ilma- ja maavasteantenneihin. Nämä puolestaan voivat olla joko monostaattisia tai bistaattisia. Monostaattisessa antenni toimii lähettimenä ja vastaanottajana, kun taas bistaattisessa lähetin ja vastaanotinantenni ovat erikseen. Maavasteantenneissa on parempi syvyysulottuvuus ja yksityiskohtien erottelukyky kuin ilmapasteantennissa. Ilmapasteantenneilla mittaaminen on huomattavasti nopeampaa kuin maavasteantennin kanssa. Maavasteantenneilla sopivin aika mitata on kesällä roudan sullettua. (Tiehallinto 2004a.)

Maatutkaluotausten tulosten varmentamiseksi edellytetään yleensä referenssikairauksia, joista voidaan tarkistaa rakennekerrosten paksuuksia tai pohjamaan laatu. Referenssikairauksista määritetään sidottujen kerrosten paksuus 4-5 mm:n tarkkuudella, sitomattomien kerrosten paksuus 2 cm:n tarkkuudella ja kokonaispaksuus 5 cm:n tarkkuudella. (Tiehallinto 2004a.)



Kuva 27. Maatutkaluotaus Hyvinkäällä, Mt 11491 Uusikartano - Palopuro.

Maatutkaluotauksia tehtiin Hyvinkäällä Mt 11491 Uusikartano - Palopuro ja Hämeenlinnassa Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka. Maatutkaluotaukset tehtiin RC-Infra Oy:n GSSI:n valmistamalla SIR-20 maatutkalaitteistolla, joka on varustettu 1 GHz:n ilmastantennilla ja 400 MHz:n maavasteantennilla (RC-Infra Oy 2012). Mittauksissa käytettiin ainoastaan ilmastantennia (kuva 27). Maatutkaluotauksen tulokset analysoitiin Road Doctor -ohjelmalla RC -infran toimesta. Kohteessa Mt 11491 tehtiin neljä ja kohteessa Mt 2846 kolme referenssikairasta.

3.1.4 Näytteenotto

Vanhoista sekoitusjyrsintäkohteista otettiin maanäytteet Andament Oy:n laitteistolla (kuva 28). Näytteiden otto tapahtui porattavalla kairalla, jonka halkaisija on 100 mm. Sekoitusjyrsitystä materiaalista otettiin talteen ylin viiden senttimetrin kerros. Rakennekerrosten paksuudet selvitettiin mittaamalla kairasta.

Menetelmä soveltuu hyvin rakennekerrosten paksuuksien määrittämiseen mutta se soveltuu huonosti karkearakeisten kerrosten tutkimiseen, koska näyte murskaantuu ja hienonee putkea maahan lyötäessä. Hienoaineksen määrä lisääntyy 1- 2 % porattavalla näytteenottokairalla. (Tiehallinto 2005f.) Näytteitä otettiin kohteista, joista haluttiin selvittää vaurioitumisen aiheuttaneet syyt sekä vertailun vuoksi myös vaurioitumattomista kohdista. Näytteitä otettiin kolmelta eri kohteelta (taulukko 27):

- Pt 12053 Taalintehtaan pt (2003)
- Pt 12645 Vasarainen (2003)
- Mt 11337 Pirttimäki -Takkula (2008)

Uudenmaan ELY -keskuksen kesän 2012 kohteista otettiin maanäytteitä ennen sekoitusjyrsintää ja sen jälkeen. Ennen jyrsintää otettiin näytteet rikkomalla vanha päällyste ja kaivamalla näytteenottokuoppa. Kuopan halkaisija oli n. 20 cm ja kuopan syvyys 15-20 cm. Myös kahdesta vanhasta sekoitusjyrsintäkohteesta Mt 16233 Kirmaranta ja Pt 18771 Koni, otettiin näytteitä koekuopan avulla. Sekoitusjyrsinnän jälkeen näytteet otettiin yleensä suoraan sekoitusjyrsimen jälkeen ennen kuin kerrosta oli tiivistetty, jolloin näytteenotto oli helpompaa. Osa näytteistä otettiin tiivistämisen, kastelun ja muotoilun jälkeen.



Kuva 28. Näytteenotto, Andament Oy

Taulukko 27. Vanhoilta sekoitusjyrsintäkohteilta otetut näytteet.

Näyte	Sijainti	Paalu	Vaurio
Pt 12053 Taalintehtaan pt			
1	Keskeltä oikeaa kaistaa	880	Vaurioitumaton
2	Oikea ura	880	Vaurioitumaton
3	Tien vasen laita	1463	Reunapainuma
4	Vasen kaista, keskeltä	1463	Leveä halkeama
5	Tien vasen reuna	1876	Vaurioitumaton
6	Oikea kaista	1876	Reikiä
7	Oikea kaista, keskeltä	2077	Reikiä
8	Oikea kaista, oikea reuna	2077	Reikiä
Mt 11337 Pirttimäki -Takkula			
1	Oikea ura	275	Vaurioitumaton
2	Oikea ura	275	Vaurioitumaton
3	Oikea ura	461	Pientä verkkohalkeamaa
4	Oikea ura	461	Pientä verkkohalkeamaa
5	Keskeltä oikeaa kaistaa	461	Vaurioitumaton
6	Oikea reuna	2726	Verkkohalkeamaa
7	Oikea reuna	2726	Verkkohalkeamaa
Mt 12645 Vasarainen			
1	Oikea reuna	544	Vaurioitumaton
2	Keskeltä oikeaa kaistaa	945	Vaurioitumaton
3	Oikea kaista, oikea ura	945	Vaurioitumaton
4	Oikea kaista, oikea ura	1445	Vaurioitumaton
5	Oikea kaista, oikea ura	1445	Vaurioitumaton
6	Keskeltä tietä	3160	Reikiä
7	Vasen kaista, vasen reuna	3160	Verkkohalkeamaa

3.2 Laboratoriokokeet

3.2.1 Rakeisuuden ja sideainepitoisuuden määrittäminen

Sekoitusjyrsitystä materiaalista määritettiin rakeisuus pesuseulonnalla standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti. Näytteet punnittiin ja kuivattiin lämpökaapissa ennen pesuseulontaa. Pesuseulonnan jälkeen näytteet kuivattiin uudelleen, minkä jälkeen näytteet seuloitiin. Sekoitusjyrsitty materiaali kuivattiin 45 °C lämpötilassa, koska asfalttirouhekappalet olisivat voineet rikkoutua korkeammassa lämpötilassa.

Seulonnan avulla määritettiin kaksi eri rakeisuutta: koko kantavan kerroksen rakeisuus sekä pelkän asfalttirouheen rakeisuus. Asfalttirouheen rakeisuuden määrittämiseen käytettiin ainoastaan seuloja, joiden aukkojen koko oli vähintään 8 mm. Hienommista seuloista asfalttirouheiden tunnistaminen olisi ollut liian vaikeaa. Sekoitusjyrsityn materiaalin maksimiraekoon selvittämiseksi yli 50 mm suuremmat asfalttikokkareet mitattiin erikseen.

Sekoitusjyrsitystä materiaalista määritettiin sideainepitoisuus uuttosuodatusmenetelmällä PANK- 4102 ohjeen mukaan. Sideainepitoisuus määritettiin ainoastaan vanhoista sekoitusjyrsintäkohteista, joista haluttiin selvittää vaurioitumisen aiheuttaneet syyt. Näytteistä oli määritetty vesipitoisuus ja hienoainepitoisuus ennen uuttosuodatusta. Uuttosuodatuksessa sideainepitoisuus saadaan näytteen alkuperäisen massan ja sideaineesta pestyn kiviaineksen massan erotuksena. Sideaine irrotettiin näytteestä liuottimen avulla uutostavuttimessa.

Sideainepitoisuuden määrittäminen PANK -4102 ohjeen mukaan:

$$S = \frac{100 \times [M - (M_1 - M_W)]}{M - M_W} \quad (9)$$

jossa

S	sideainepitoisuus (%)
M	kuivaamattoman osanäytteen massa (g)
M ₁	mineraaliaineksen massa (g)
M _W	kuivaamattoman osanäytteen vesipitoisuus (g)

3.2.2 Vedenimeytymisominaisuudet

Sekoitusjyrsityn materiaalin vedenimeytymisominaisuuksia ja vedensitomiskykyä tutkittiin imupainekokeella (Tube Suction Test). Kokeessa määritettiin materiaalin dielektrisyysarvo, joka kuvaa vapaan veden määrää materiaalissa. Dielektrisyys on elektromagneettinen suure, joka kuvaa aineen kykyä varautua ulkoisen sähkökentän vaikutuksesta. Dielektrisyteen vaikuttavat kiinteiden partikkelien, ilman ja veden seossuhde, veden lämpötila ja kiinteiden partikkelien ominaisuudet. (PANK 2009.)

Dielektrisyysarvon perusteella hyvä kantavan kerroksen murske saa korkeintaan arvon 9. Ongelmallisten kantavan kerroksen murskeiden dielektrisyysarvo on yli 16. (Saarenketo 2006.)



Kuva 29. Imupainekokeen näytteet vesiastiassa ja näytteiden valmistaminen.

Imupainekokeet tehtiin PANK 9002 -menetelmän mukaisesti ja koekappaleet valmistettiin staattisella puristimella. Koekappaleiden valmistamisessa käytettiin apuna Suhosen diplomityötä: Soratien kulutuskerrosmateriaalien vaikutus pintakelirikkoon. Sekoitussyrsitystä materiaalista seulottiin pois kaikki yli 20 mm suuremmat raekoot. Ennen koekappaleiden valmistusta materiaali kuivattiin uunissa 45 C° lämpötilassa. Koekappaleiden vesipitoisuudeksi valittiin kolme prosenttia, koska sekoitusjyrsityistä kohteista otetuista maanäytteistä tutkittuna yleisin vesipitoisuus oli kolme prosenttia. Yksi koekappale valmistettiin vertailun vuoksi neljän prosentin vesipitoisuudella. Koekappaleiden korkeus oli 180-200 mm ja kappaleiden pohjalla oli reiällinen pohjalevy. Jokaista koekappaletta varten valmistettiin 8 000-10 000 g oikeassa vesipitoisuudessa olevaa sekoitusjyrsittyä materiaalia. Koekappaleet tiivistettiin kolmessa osassa, joissa jokaisessa oli noin kolmasosa materiaalista. Koekappaleet puristettiin 550 bar:n paineella 10 sekunnin ajan. Jokaisen materiaalin lisäämisen ja tiivistämisen välissä koekappaleen pinta rikottiin, jotta kerrosten välille ei muodostuisi selviä rajapintoja. Valmiit koekappaleet kuivattiin uunissa 45 C° lämpötilassa neljän päivän ajan, kunnes näytteiden massa ei enää muuttunut tunnissa yli 0,1 %. Koekappaleiden annettiin sen jälkeen tasaantua huoneenlämmössä kaksi päivää.

Näytteistä tutkittiin dielektrisyys ja sähkönjohtavuus Adek Percometer -laitteella kuivaamisen jälkeen. Ensimmäisen mittauksen jälkeen koekappaleiden alapää laitettiin astiaan, jossa oli noin 20 mm tislattua vettä. Kappaleet peitettiin kelmulla vedenhaihtumisen vähentämiseksi. Seuraava mittaus tehtiin 30 minuuttia veteen laittamisen jälkeen. Ensimmäisen vuorokauden aikana mittauksia tehtiin 1,2,4,6 ja 8 tunnin jälkeen testin aloittamisesta. Toisena mittauspäivänä tehtiin kaksi mittausta ja kolmannesta mittauspäivästä lähtien tehtiin yksi mittaus vuorokaudessa. Mittauksia tehtiin kymmenen vuorokauden ajan. Viikonlopun aikana mittauksissa pidettiin tauko.

Taulukko 28. Eri materiaalien dielektrisyysarvot. (Saarenketo 2006)

Materiaali	Dielektrisyysarvo
Savi	25 -40
Siltti	16 -30
Hiekka	4 -6
Sora	4 -7
Asfaltti	4 -8
Murskattu kantava kerros	6 -8
Bitumilla sidottu kantava kerros	6 -7

3.2.3 Lujuus

Sekoitusjyrsityn materiaalin iskunkestävyys määritettiin Los Angeles-testimenetelmällä (SFS-EN 1097-2). Los Angeles -koetta varten valmistettiin näyte, jonka massa oli $(5\,000 \pm 5)$ g. Kokeessa käytettävän materiaalin raekoko oli 10-14 mm. Lisäksi näytteen oli täytettävä yksi alla olevista vaatimuksista:

- a) 60 -70 % läpäisee 12,5 mm testiseulan tai
- b) 30- 40 % läpäisee 11,2 mm testiseulan

Los Angeles-koetta varten otettiin sekoitusjyrsintäkohteista maanäytteitä, joista eroteltiin 10/11,2 mm ja 11,2/14 mm rakeisuudet. Näytteitä otettiin eri sekoitusjyrsintäsyvyyksiltä, jolloin näytteiden asfalttirouhepitoisuudet vaihtelivat eri näytteissä. Lisäksi valmistettiin samoista materiaaleista vertailunäytteitä, joissa oli ainoastaan asfalttirouhetta, lisämursketta tai pelkkää kiviainesta (lisämurske + kantava kerros). Näytteistä punnittiin asfalttirouheiden massat kummastakin lajitteesta ennen kokeen alkua.

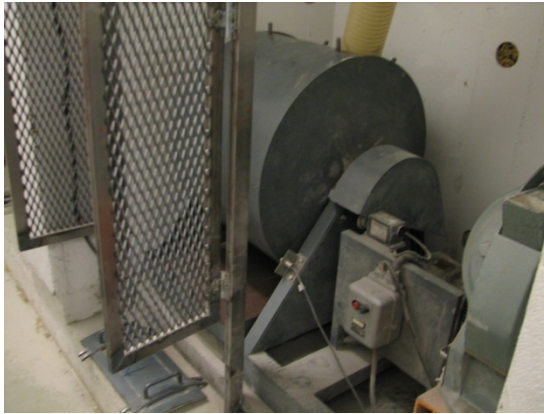
Los Angeles -kokeessa kiviainesnäytettä pyöritettiin teräsrummussa 11 teräskuulan kanssa. Kokeessa käytettävien teräskuulien halkaisijan pitää olla 45-49 mm ja kokonaispainon on oltava 4 690-4860 g välillä. Teräskuulat laitettiin varovasti rumpuun, minkä jälkeen lisättiin sekoitusjyrsitty materiaali. Los Angeles-laitetta pyöritettiin 500 kierrosta vakionopeudella 31-33 kierrosta minuutissa. Kokeen jälkeen kiviaines kaadettiin rummun alla olevaan kaukaloon.

Sekoitusjyrsitty materiaali pesuseulottiin 1,6 mm seulalla. Seulalle jäänyt osa kuivattiin lämpökaapissa, minkä jälkeen se seulottiin uudelleen 1,6 mm seulalla ja punnittiin. Los Angeles-luku LA laskettiin 1,6 mm seulalle jääneen materiaalin massasta kaavalla:

$$LA = \frac{5000-m}{50} \quad (10)$$

jossa m on 1,6 mm seulalla jäänyt massa grammoina.

Iskunkestävyyttä kuvaava Los Angeles -luku saa kantavan kerroksen materiaalilla olla enintään 30 (luokka LA₃₀) (InfraRYL 2010). Vähäliikenteisillä teillä, joiden kuormitus-kertaluku on alle 0,4 milj. standardiakselia, voidaan hyväksyä myös luokan LA₄₀ materiaalia kantavassa kerroksessa (Tiehallinto 2005a).



Kuva 30. Los Angeles-laite ja kokeessa käytetyt teräskuulat.

3.3 Muut menetelmät

3.3.1 Jäykkyyssmoduulin määrittäminen

Takaisinlaskenta

Takaisinlaskennan periaatteena on iteroida rakennekerroksille jäykkyyssmoduulit, jotka tuottavat saman laskennallisen taipumasuppilon kuin pudotuspainolaitemittauksissa on mitattu. Eri laskentaohjelmat perustuvat eri laskentamenetelmiin, kuten monikerrosteoriaan, elementtimenetelmään (FEM) tai Odemarkin vastinpaksuusmenetelmään. (Spoof et al. 2000b.)

Takaisinlaskentaa varten tarvitaan lähtötietoina tien rakennekerrosten paksuudet. Päälysteen jäykkyyteen vaikuttaa mittauksen aikana vallinnut lämpötila. Jäykkyys korjataan lämpötilakaavojen avulla oikeaan arvoon. Laskennassa tarvitaan taipumasuppilon aiheuttanut maksimivoima tai tavoitevoima, jos taipumat on haluttu normalisoida kuormituksen suhteen. Taipumasuppilosta tarvitaan mitattujen taipumien maksimiarvot. (Spoof et al. 2000b.)

Sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyyssmoduulin määrittämiseen käytettiin Kenlayer-ohjelmaa. Kenlayer-ohjelma on kimmoteoriaan perustuva monikerrosohjelma, joka ottaa huomioon sitomattomien kerrosten ja alusrakenteen jännitystilariippuvuuden, jos materiaalien jäännösmoduulit ilmaistaan parametrien K_1 ja K_2 avulla. Liikennekuormituksen voidaan käyttää yksittäis- tai paripyöräkuormitusta. Ohjelma iteroi tilanteen, jossa liikennekuormitus ja rakennekerrosten painosta johtuva jännitystila on yhteensopiva kerrosten jäännösmoduulien kanssa. (Tiehallinto 1997.)

Varsinainen iterointi tehtiin LEAF -takaisinlaskentaohjelmalla. Ohjelman käyttäminen edellytti amerikkalaisten yksiköiden muuttamista SI-järjestelmän yksiköihin. Ohjelma käytti taipumasuppilon iterointiin ainoastaan kuuden painuma-anturin tulosta, minkä vuoksi laskennasta karsittiin 900 mm etäisyydellä olleen anturin painumat. Realistisia sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyyssmoduuleja saatiin ainoastaan, kun päällysteelle, jakavalle kerrokselle ja pohjamaalle annettiin vakioarvot.

Tierakenne mallinnetaan yleensä 3- tai 4-kerrosrakenteena. Sitomattomien kerrosten paksuuksien tulisi olla vähintään 200 mm tulosten luotettavuuden kannalta. (Spoof et al. 2000b.) Tutkimuksessa rakennekerrosten paksuudet saatiin maatumkaluotausten ja suunnitelmätietojen avulla.

Ehjän asfalttipäällysteen moduulina käytetään $3500 \text{ MN/m}^2 + 20 \text{ C}^\circ$ vertailulämpötilassa. Moduulin arvoa muutetaan tarvittaessa siten, että muiden kerrosten moduulit ovat realistisia ja mitatut sekä lasketut taipumat vastaavat toisiaan. Bitumilla sidotun kerroksen jäykkyyteen vaikuttaa lämpötila. Takaisinlaskennassa käytetään mitoituslämpötilana $+20 \text{ C}^\circ$. Pudotuspainolaitteella mitattu taipumasuppilosta takaisinlaskettu päällysteen jäykkyyssmoduuli riippuu lämpötilasta kaavan (11) mukaisesti. (Spoof et al 2000b.)

$$S_s = S_m * 0,96^{(T_s - T_m)} \quad (11)$$

jossa S_s = päällysteen jäykkyys tarkastelulämpötilassa T_s [$^\circ\text{C}$]
 S_m = päällysteen jäykkyys mittaustilassa T_m [$^\circ\text{C}$]

Päällysteen jäykkyys vaikuttaa ylimmän sitomattoman kerroksen jännitystilaan ja sen muodonmuutosmoduuliin. Sitomattomien kerrosten moduuli riippuu jännitystilasta. Taulukon 29 avulla voidaan arvioida takaisinlaskennasta saatujen moduulien realistiisuutta. Jos jokin sitomattomista kerroksista saa epärealistisia moduulin arvoja laskennassa, voidaan se yhdistää lähinnä samankaltaisen kerroksen kanssa tai sille annetaan vakioarvo, joka riippuu mm. kerroksen jännitystilasta. (Spoof et al. 2000b.)

Poissonin luku kuvaa materiaalin kokoonpuristumisominaisuutta ja se vaihtelee välillä 0-0,5. Poissonin luku 0 tarkoittaa materiaalia, joka painuu puristettaessa kasaan leviämättä sivuille. Poissonin luku 0,5 tarkoittaa materiaalia, minkä tilavuus puristettaessa ei muutu, vaan leviää sivuilla kokoonpuristumista vastaavan määrän. Laskennassa kaikille kerroksille käytetään Poissonin luvulle arvoa $\nu = 0,35$. Laskennassa tarvitaan taipumasuppilon aiheuttanut maksimivoima, joka pudotuspainolaitemittauksissa on yleensä 50 kN. Taipumasuppiloista tarvitaan mitattujen taipumien maksimiarvot, mitkä pitää normalisoida kuormituksen ja lämpötilan suhteen. (Spoof et al. 2000b.)

Pintamoduuli

Pudotuspainolaitemittauksissa saadun taipumasuppilon perusteella voidaan määrittää pintamoduulikuvaja, minkä avulla voidaan arvioida eri rakennekerrosten jäykkyyttä. Pintamoduulit lasketaan kaavalla (12).

$$Er = \frac{[(1-\nu^2) * \sigma_0 * a^2]}{r * dr} \quad (12)$$

jossa

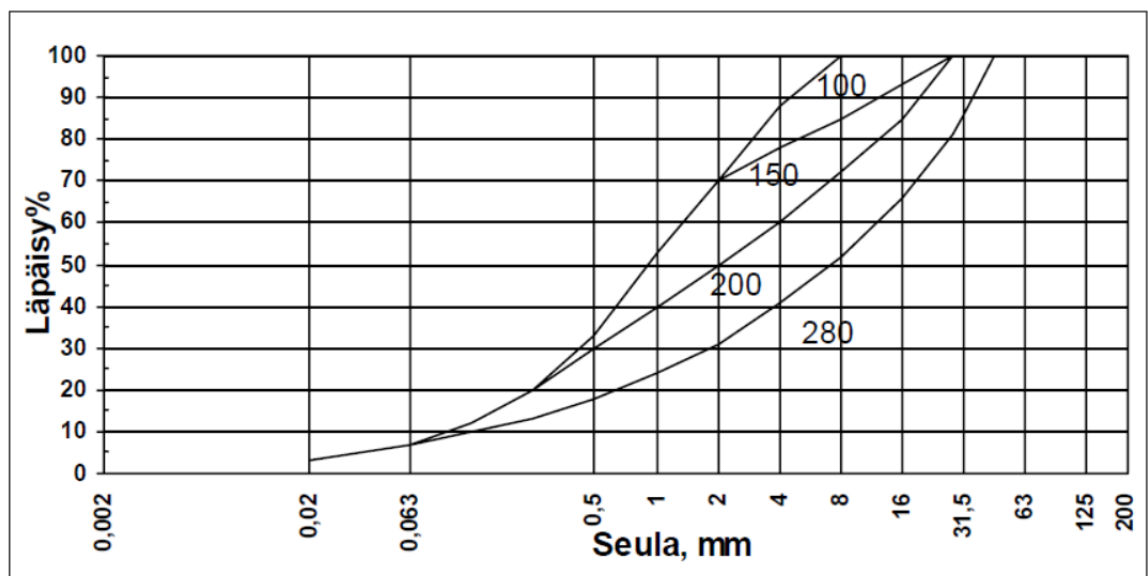
Er	Pintamoduuli MN/m ²
V	Poissonin luku, $\nu = 0,35$
σ_0	Kosketuspaine MN/m ²
a	Kuormituslevyn säde, m
r	Taipuma-anturin etäisyys kuormituslevystä, m
dr	Taipuma etäisyydellä r kuormituslevystä, m

Pintamoduuli kuvaa rakenteen muodonmuutosmoduulia anturin etäisyyttä vastaavalta ekvivalenttisyvyydeltä alaspäin. Kuormituslevyn alla tapahtuvan taipuman perusteella määritettyä pintamoduulin arvoa kutsutaan yleisesti kantavuudeksi. (Spoof et al. 2000a.)

Taulukko 29. Eri materiaalien tyypillisiä jäykkyyshmoduuliarvoja. (Spoof et al. 2000b)

Materiaali	Moduuli MPa
AB -päällyste	2 000 -7 000
PAB -päällyste	500 - 2 500
Bitumistabilointi	300 -2 000
Bitumi -sementtikomposiitti	2 000 -10 000
Sementtistabilointi	1 000 -8 000
Kantava kerros (murske)	200 -700
Kantava kerros (sora)	150 -400
Jakava kerros (murske)	100 -300
Jakava kerros (sora)	50 -200
Jakava kerros (hiekkä)	50 -150
Pohjamaa (koheesiomaa)	5 -100
Pohjamaa (kitkamaa)	20 -200
Kallio	300 - 5 000

Lisäksi sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyyshmoduulia verrataan kuvan 31 murskeiden jäykkyyshmoduulin arviointiin käytettävään kuvaajaan, jossa murske saa huonoimman jäykkyyshmoduulin arvon sen mukaan, millä alueella rakeisuuskäyrä käy (Tiehallinto 2005b).



Kuva 31. Jäykkyysmoduulin arvioiminen rakeisuuskäyrän perusteella. (Tiehallinto 2005b)

Taulukko 30. Jäykkyysmoduulin arvioiminen rakeisuuden perusteella. (Tiehallinto 2005b)

Moduulit Mpa	Seulakoot mm									
	0,02	0,063	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
280	3	7	18	24	31	41	52	66	86	100
200	3	7	30	40	50	60	72	85	100	
150	3	7	33	53	70	78	85	93	100	
100	3	7	33	53	70	88	100			

3.3.2 Tieräkisteri, kuntorekisteri ja PTM- mittaukset

Kohteiden tiedot selvitetiin Liikenneviraston tieräkisteristä ja kuntorekisteristä. Tieräkisteriin on tallennettu tiestöä koskevat perustiedot ja se toimii Liikenneviraston eri tietojärjestelmien pohjana. Tieräkisteri sisältää tietoa tien geometriasta, mitoituksista, päällysteestä ja liikenteestä. Päällystettyjen teiden kuntorekisteri KURRE sisältää tiedot vuosittaisista kuntomittauksista. (Haveri 2005.)

Päällystetyn tien kuntoa mitataan vuosittain palvelutasomittausten (PTM) avulla. Vähäliikenteisillä teillä mittaukset tehdään joka kolmas vuosi. PTM -autolla voidaan mitata mm. tien pituussuuntainen tasaisuus: IRI ja IRI-4 sekä tien poikkisuuntainen epätasaisuus: maksimiurasyvyys, harjanteen korkeus ja sivukaltevyys. Lisäksi kuntorekisterissä on vuodesta 2006 alkaen automaattisten vauriomittausten (APVM) tietoja. Ne korvataan lähivuosina päällystevauriokartoituksen (PVK) tuloksilla. (Tiehallinto 2007a.)

4 Tutkimustulokset

4.1 Vaurioituminen ja kunto

Vauriot

Taulukossa 31 ovat vanhoille sekoitusjyrsintäkohteille määritetyt vauriosummat. Vauriosumman jakautumista on kuvattu fraktiilien avulla. Taulukossa 33 on kullekin kohteelle määritetty tienkäyttäjän vauriosumma, mikä toimii paremmin vähäliikenteisen tien kuntomittarina kuin tavallinen vauriosumma. Taulukossa 32 ovat tavallisten vauriosummien perusteella määritetyt vaurioitumisnopeudet. Taulukoissa on väreillä merkitty tien kuntoluokka:

- Tumman vihreä: Erittäin hyvä
- Vaalean vihreä: Hyvä
- Oranssi: Tyydyttävä
- Vaalean punainen: Huono
- Tumman punainen: Erittäin huono

Taulukko 31. Vauriosummat vanhoilla sekoitusjyrsintäkohteilla.

Tie	SJYR vuosi	VS keskiarvo	VS MIN	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	90 % fraktiili	VS MAX
Pt 12053 Taalintehtaan pt	2003	19,63	0,0	9,2	16,7	29,5	38,7	53,1
Pt 12645 Vasarainen	2003	39,81	0,0	17,2	35,5	53,8	80,3	92,3
Mt 7693 Kangaspuro- Haapamäki	2004	33,48	3,8	11,1	23,7	49,2	75,7	115,5
Pt 18771 Koni	2004	28,33	4,5	16,3	25,4	39,1	49,9	67,5
Mt 11337 Pirttimäki- Takkula	2008	20,22	0,0	7,5	16,2	22,2	45,0	83,2
Mt 11225 Siikala- Pilpala	2008	9,54	0,0	0,7	2,5	10,0	23,8	101,2
Mt 11891 Liljendal- Rudom	2008	14,18	0,0	2,4	3,9	19,4	28,1	92,3
Mt 16233 Kirmaranta	2009	12,3	0,0	2,5	7,5	15,4	29,1	46,0
Kt 58 Väätäiskylä- Karstula tieosat 26,27,29,30,31	2009	7,86	0,0	0,0	0,0	5,0	24,3	132,0

Vaurioitumisnopeudet on jaettu kahteen eri luokkaan: nopeasti vaurioituvat on merkitty punaisella värillä ja hitaasti vaurioituvat vihreällä. Vaurioitumisnopeus on määritetty ainoastaan kohteille, jotka ovat vähintään neljä vuotta vanhoja.

Taulukko 32. Vaurioitumisnopeus vanhoilla sekoitusjyrsintäkohteilla.

Tie	SJYR vuosi	Vaurioitumis- nopeus keskiarvo	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	90 % fraktiili	Vaurioitumis- nopeus MAX
Pt 12053 Taalintehtaan pt	2003	0,91	0,43	0,77	1,36	1,79	2,45
Pt 12645 Vasarainen	2003	1,84	0,79	1,64	2,48	3,70	4,26
Mt 7693 Kangaspuro- Haapamäki	2004	1,82	0,60	1,29	2,68	4,12	6,28
Pt 18771 Koni	2004	1,54	0,88	1,38	2,13	2,72	3,67
Mt 11337 Pirttimäki- Takkula	2008	2,90	1,07	2,33	3,18	6,47	11,90
Mt 11225 Siikala- Pilpala	2008	1,37	0,13	0,36	1,44	3,42	14,53
Mt 11891 Liljendal- Rudom	2008	2,04	0,34	0,56	2,78	4,03	13,25

Taulukko 33. Tienkäyttäjän vauriosummat vanhoilla sekoitusjyrsintäkohteilla.

Tie	SJYR vuosi	VSt keskiarvo	VSt MIN	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	90 % fraktiili	VSt MAX
Pt 12053 Taalintehtaan pt	2003	40,1	0,0	14,5	34,8	57,3	87,8	110,0
Pt 12645 Vasarainen	2003	45,0	0,0	16,4	41,5	64,3	81,0	132,5
Mt 7693 Kangaspuro- Haapamäki	2004	54,1	4,0	23,6	39,8	65,3	131,6	213,0
Pt 18771 Koni	2004	67,6	8,0	41,0	68,0	89,8	110,5	146,0
Mt 11337 Pirttimäki- Takkula	2008	25,4	0,0	8,5	20,0	34,4	45,3	130,0
Mt 11225 Siikala- Pilpala	2008	20,8	0,0	0,5	8,0	32,0	61,0	152,0
Mt 11891 Liljendal- Rudom	2008	26,8	0,0	5,0	10,0	35,8	53,4	169,5
Mt 16233 Kirmaranta	2009	25,9	0,0	8,0	17,0	35,5	49,9	103,0
Kt 58 Väätäiskylä- Karstula tieosat 26,27,29,30,31	2009	14,6	0,0	0,0	0,0	10,0	50,0	198,0

Taulukossa 34 ovat kuntorekisteristä peräsin olevat PTM- mittauksista saadut IRI - arvot. IRI:n kasvunopeudet eivät ole kaikilla kohteilla vertailukelpoisia, koska ensimmäisten kohteille tehtyjen PTM -mittausten ajankohta vaihteli. Taulukossa 35 ovat tiedot kohteiden maksimiurasyvyydestä ja taulukossa 36 ovat tiedot harjanteen korkeuksista. Harjanteen korkeuksissa vihreällä värillä on kuvattu kohteet, joissa harjanteen korkeus on normaali ja oranssilla värillä kohteet, joissa harjanteen korkeuden mukaan poikkileikkauksessa on ollut vikaa. Yhdessäkään kohteessa harjanteen korkeus ei ollut ongelmallisen suuri.

Taulukko 34. IRI -arvot vanhoilla sekoitusjyrsintäkohteilla.

Tie	SJYR vuosi	PTM vuosi	IRI keskiarvo mm/m	IRInop. Keskiarvo mm/m/v	IRI MIN	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	IRI MAX
Pt 12053 Taalintehtaan pt	2003	2011	2,21	0,036 (2008-2011)	1,71	1,91	2,06	2,42	4,03
Pt 12645 Vasarainen	2003	2008	1,68	0,037 (2005-2008)	1,13	1,29	1,48	1,78	4,58
Mt 7693 Kangaspuro- Haapamäki	2004	2008	1,45	0,060 (2005-2008)	1,05	1,35	1,48	1,56	1,96
Pt 18771 Koni	2004	2011	2,07	0,068 (2008-2011)	1,48	1,76	1,93	2,36	3,14
Mt 11337 Pirttimäki- Takkula	2008	2011	2,10	-	1,03	1,65	2,05	2,41	4,51
Mt 11225 Siikala-Pilpala	2008	2011	1,94	0,073 (2009-2011)	1,03	1,72	1,93	2,11	3,26

Taulukko 35. Urasyyvyys vanhoilla sekoitusjyrsintäkohteilla.

Tie	SJYR vuosi	PTM vuosi	URAmx keskiarvo mm	URAnop. Keskiarvo mm/v	URA- max MIN	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	URA- max MAX
Pt 12053 Taalintehtaan pt	2003	2011	5,40	0,42	1,80	4,28	4,80	5,80	11,50
Pt 12645 Vasarainen	2003	2008	4,67	0,54	1,80	3,43	4,40	5,95	8,30
Mt 7693 Kangaspuro- Haapamäki	2004	2008	4,73	0,69	1,80	3,95	4,50	5,75	8,90
Pt 18771 Koni	2004	2011	2,71	0,17	0,90	1,50	2,20	3,40	7,60
Mt 11337 Pirttimäki- Takkula	2008	2011	3,52	0,47	2,10	2,90	3,20	4,05	7,10
Mt 11225 Siikala- Pilpala	2008	2011	3,65	0,55	1,60	2,90	3,40	4,23	7,50

Taulukko 36. Harjanteen korkeus vanhoilla sekoitusjyrsintäkohteilla.

Tie	SJYR vuosi	PTM vuosi	Harjanteen korkeus keskiarvo mm	Harjanteen korkeuden kasvu- nopeuden keskiarvo	Harjanteen korkeus MIN	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	Harjanteen korkeus MAX
Pt 12053 Taalintehtaan pt	2003	2011	6,45	0,22 (2008-2011)	2,7	4,4	5,8	7,7	17,2
Pt 12645 Vasarainen	2003	2008	6,73	0,78 (2005-2011)	2,7	4,8	6,3	8,5	13,1
Mt 7693 Kangaspuro- Haapamäki	2004	2008	8,40	0,47 (2005-2008)	-0,2	7,3	8,0	9,2	21,3
Pt 18771 Koni	2004	2011	17,53	5,23 (2008 -2011)	-0,6	8,1	17,6	25,0	37,2
Mt 11337 Pirttimäki- Takkula	2008	2011	5,67	-	2,6	4,5	5,4	6,2	10,3
Mt 11225 Siikala- Pilpala	2008	2011	5,72	0,85 (2009-2011)	2,2	4,0	5,3	7,2	15,2

Vanhojen kohteiden vaurioitumisen syyt

Vanhoista kohteista otetuista maanäytteistä ovat tulokset taulukoissa 37 ja 38. Taulukossa 37 ovat näytteille määritetyt vesipitoisuudet, hienoainespitoisuudet ja sideainepitoisuudet. Taulukossa 38 ovat näytteenotossa määritetyt rakennekerrosten paksuudet.

Taulukko 37. Vanhat SJYR -kohteet: vesipitoisuus, hienoainespitoisuus ja sideainepitoisuus.

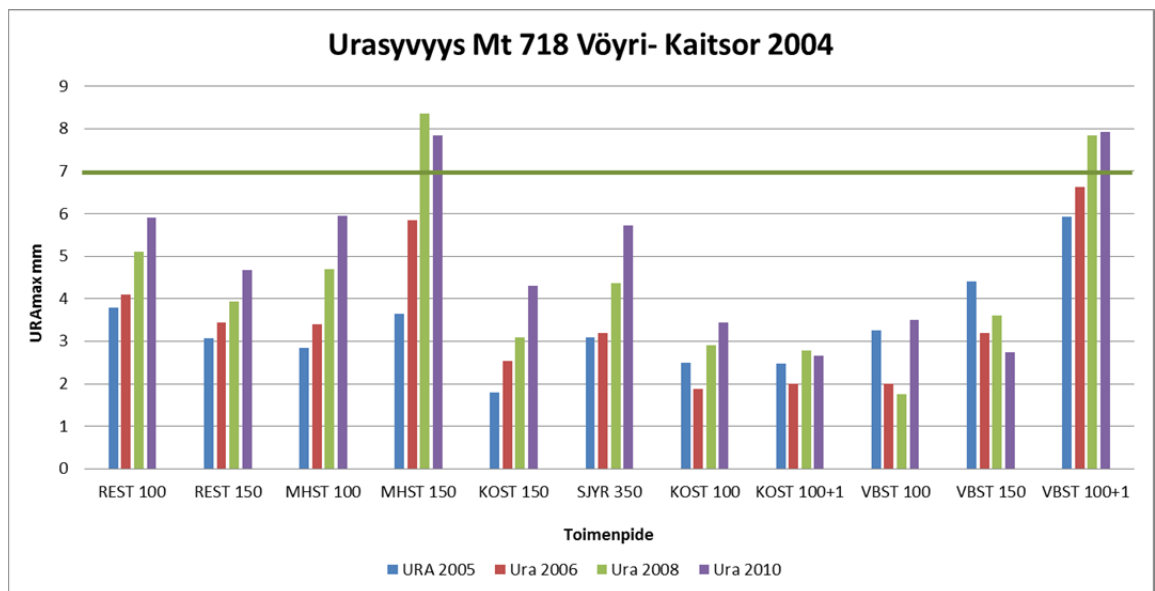
Kohde	Näyte	Vaurioituminen	Vesi- pitoisuus %	Hienoaines- pitoisuus %	Sideaine- pitoisuus %
Pt 12053	1	-	1,9	4,5	0,9
	2	-	2,5	3,8	0,7
	3	Reunapainuma	2,5	2,9	0,9
	4	Leveä halkeama	2,4	2,9	1,3
	5	-	2,5	3,5	1,8
	6	Reikiä	1,9	1,5	2,4
	7	Reikiä	3,2	10,4	0,3
	8	Reikiä	3,0	8,6	1,2
Mt 11337	1	-	4,3	0,5	6,3
	2	-	4,0	1,1	4,4
	3	Pientä verkkohalkeamaa	4,1	0,9	4,9
	4	Pientä verkkohalkeamaa	4,0	1,1	7,0
	5	-	4,0	1,1	4,9
	6	Verkkohalkeamaa	-	1,6	0,9
	7	Verkkohalkemaa	2,6	1,9	1,3
Mt 12645	1	-	2,7	4,6	0,8
	2	-	2,4	5,4	0,3
	3	-	2,3	5,0	0,5
	4	-	3,5	5,4	0,4
	5	-	3,0	5,0	0,6
	6	Reikiä	3,1	7,3	0,4
	7	Verkkohalkeamaa	3,5	6,0	0,5

Taulukko 38. Vanhat SJYR -kohteet, rakennekerrosten paksuudet.

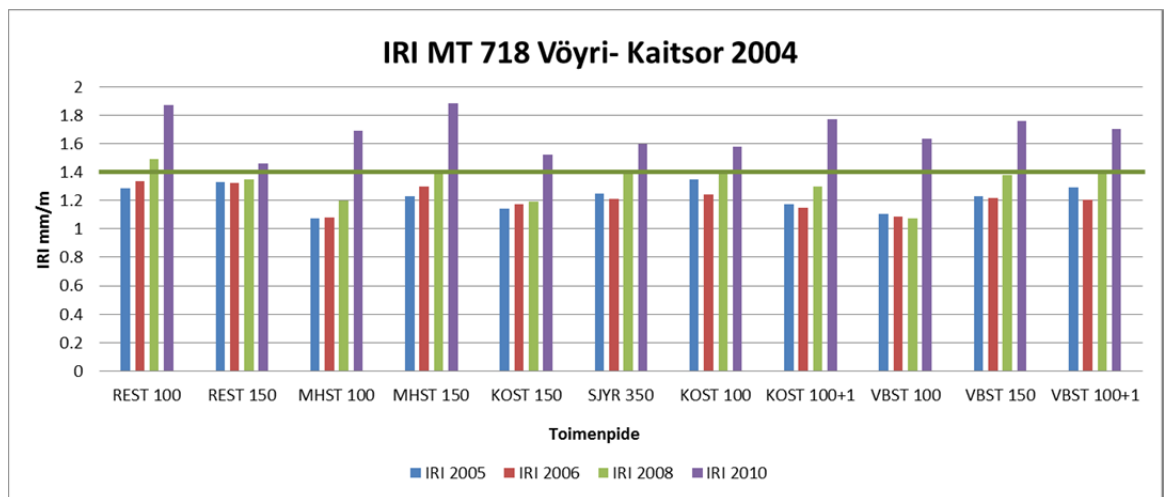
Kohde	Näyte	Päällysteen paksuus mm	Kantavan + jakavan kerroksen paksuus mm	Suodatinkerros mm	Pohjamaa
Pt 12053	1	40	200 + 450		Savi + kallio
	2	40	350		Kallio
	3	40	250	250	Märkä hiesu
	4	40	380	150	Märkä hiesu
	5	30	150		Hiekka + hiesu
	6	40	250 + 300	300	Märkä hiesu
	7	20	350	300 (märkä)	Kallio
	8	20	150	250	Kallio
Mt 11337	1	40	250	200	Märkä hiesu
	2	40	250	350	Märkä hiesu
	3	40	300		Märkä hiekka/hiesu
	4	40	300	300	Märkä hiesu
	5	40	350	300	Märkä hiesu
	6	40	200 + 300		Märkä savi
	7	40	300 + 200		Märkä savi
Mt 12645	1	40	200 + 340	250	
	2	40	320		Kallio
	3	40	360	550	
	4	30	270+ 350	250	
	5	30	250 + 300	350	
	6	20	200 + 400	300	Savi
	7	40	350	440	Savi

4.2 Vöyrin koekohde

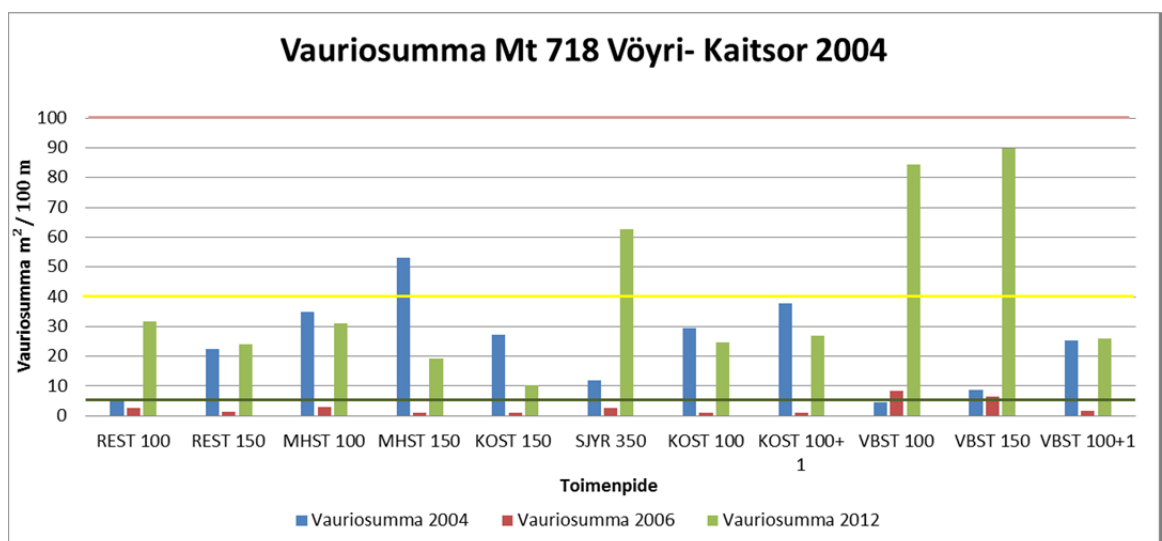
Sekoitusjyrsinnän ja eri stabilointimenetelmien vaikutuksia arvioitiin Vöyrin koekohdeesta saatujen kuntotietojen perusteella. Kuvissa 32-34 on esitetty eri toimenpiteiden osuuksilla mitatut maksimiurasyvyydet, IRI -arvot ja vauriosummat. Tiedot urasyvyydestä ja tasaisuudesta ovat toimenpiteiden jälkeen. Vauriosummasta on lisäksi tiedot ennen rakenteen parantamistoimenpiteitä.



Kuva 32. Urasyyvyys, MT 718 Vöyri - Kaitsor.



Kuva 33. Tasaisuus, Mt 718 Vöyri - Kaitsor.



Kuva 34. Vauriosumma, Mt 718 Vöyri - Kaitsor.

4.3 Kantavuus

Sekoitusjyrsittyjen kohteiden Mt 2846 ja Mt 11491 pudotuspainolaitemittauksissa saadut kantavuuden muutokset ovat taulukossa 39. Punaisella värillä on merkitty tulokset, joissa ei ole saavutettu kohteelle asetettua tavoitekantavuutta.

Taulukko 39. Kantavuuden muutokset kohteilla Mt 2846 ja Mt 11491.

Tie	Tavoite- kanta- vuus MPa	Keskimää- räinen kantavuus MPa	MIN	10 % fraktiili	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	90 % fraktiili	MAX
Mt 2846 ennen SJYR	165	195,2	70,0	114,4	144,5	180,0	223,5	289,4	494,0
Mt 2846 SJYR jälkeen		235,3	101,0	162,4	201,0	232,0	254,5	306,2	436,0
Muutos		40,1	31,0	48,0	56,5	52,0	31,0	16,8	-58,0
Mt 11491 ennen SJYR	145	230,8	99,0	151,6	179,3	215,5	264,8	342,4	464,0
Mt 11491 SJYR jälkeen		229,8	148,0	179,6	196,5	215,5	248,8	299,4	481,0
Muutos		-1,0	49,0	28,0	17,3	0,0	-16,0	-43,0	-17,0

Taulukossa 40 ovat Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka -kohteelle tehtyjen pudotuspainolaitemittausten tulosten perusteella määritetyt kantavuuden muutokset lisämurskeille KaM 0/32 ja KaM 0/56.

Taulukko 40. Kantavuus Mt 2846, eri lisämurskeiden rakeisuudet.

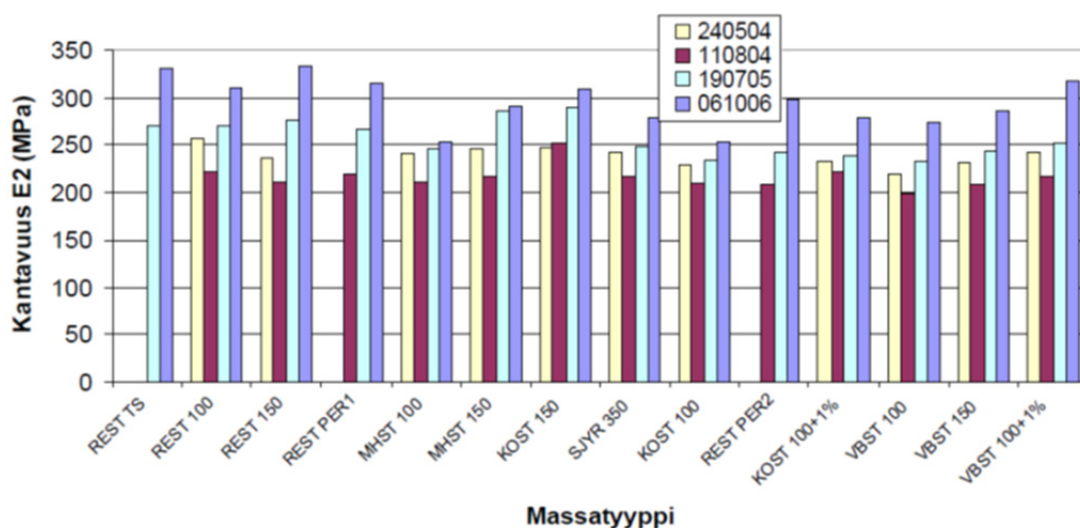
Jyrsintäsyvyys mm	Lisämurske- kerroksen paksuus mm Lisämurske	Keskimää- räinen kantavuus ennen SJYR MPa	Keskimääräinen kantavuus SJYR jälkeen MPa	Muutos MPa
300	100 KaM 0/56	181	252	71
300	100 KaM 0/32	205	242	37
200	150 KaM 0/32	138	168	31

Taulukossa 41 ovat Mt 11491 Uusikartano - Palopuro -kohteelle tehtyjen pudotuspainolaitemittausten tulosten perusteella eri sekoitusjyrsintäsyvyyksille ja lisämurskekerrosten paksuuksille määritetyt kantavuuden muutokset.

Taulukko 41. Kantavuus Hyvinkää Mt 11491, eri lisämurske kerrospaksuudet.

Jyrsintä- syvyys mm	Lisämurske- kerroksen paksuus mm	Keskimääräinen kantavuus ennen SJYR MPa	Keskimääräinen kantavuus SJYR jälkeen MPa	Muutos MPa
100	50	340	298	-42
150	50	230	229	-1
150	Ei lisämursketta	346	310	-36
200	50	248	232	-16
200	100	188	202	14

Vöyrin koetiestä on olemassa tulokset myös rakenteenparantamistoimenpiteiden vaikutuksista tien kantavuuteen. Kohteelle on tehty neljä eri pudotuspainolaitemittausta. Ensimmäinen ennen toimenpiteitä ja toinen samana kesänä toimenpiteiden jälkeen. Kolmas mittaus tehtiin vuosi toimenpiteiden jälkeen ja viimeinen pudotuspainolaitemittaus tehtiin kaksi vuotta toimenpiteiden jälkeen.



Kuva 35. Eri rakenteen parantamismenetelmien vaikutukset tien kantavuuteen (Tiehallinto 2007c)

4.4 Kantavan kerroksen rakeisuus

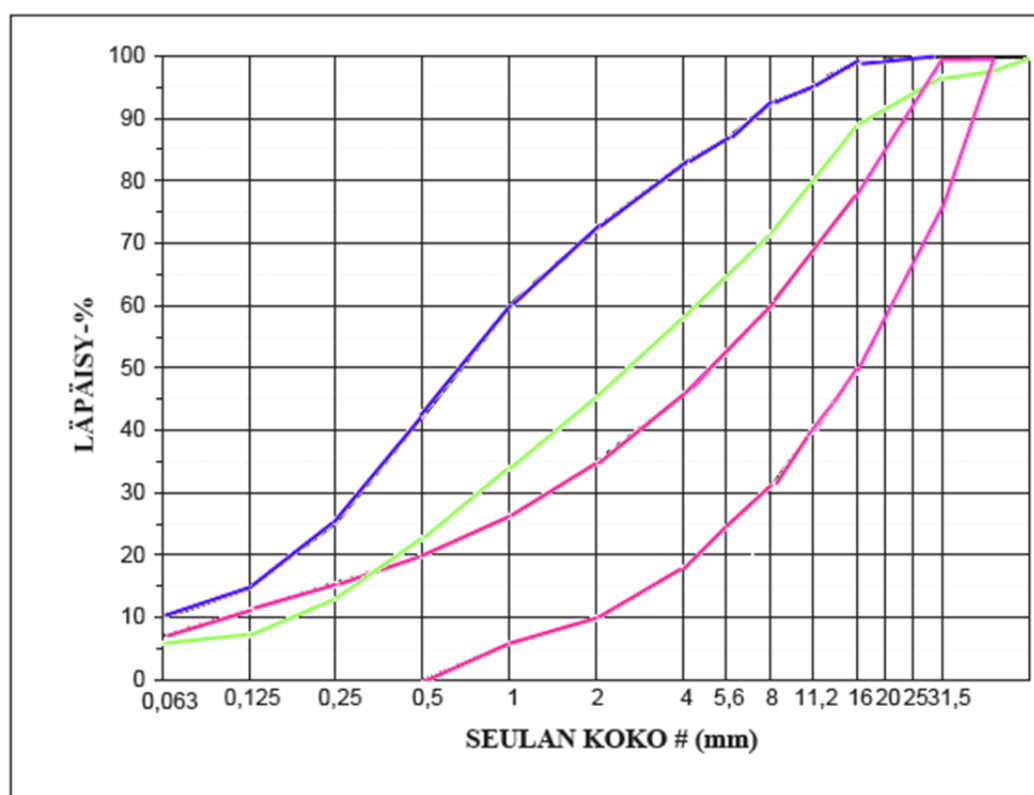
Tulokset lisämurskeiden vaikutuksista kantavan kerroksen rakeisuuteen ovat taulukoissa 42-44. Taulukoihin on merkitty punaisella värillä kantavien kerroksien rakeisuuksien raja-arvojen ylitykset. Seulojen 8, 16, 31,5 ja 45 kohdalle on merkitty sulkuihin asfalttirouheen osuus seuralle jääneestä lajitteesta. Kuvaajiin on merkitty sinisellä värillä rakeisuuskäyrä ennen sekoitusjyrsintää, vihreällä rakeisuuskäyrä sekoitusjyrsinnän jälkeen ja punaisella kantavan kerroksen rakeisuuksien raja-arvot. Raja-arvot ovat peräisin InfraRYL 2010:sta; kantavan kerroksen murskeiden yksittäisten rakeisuustulosten sallittu

vaihteluväli, avoin rakeisuus, kapea ohjealue. Lisää taulukoita ja kuvaajia rakeisuus-käyristä on liitteessä D.

Lisämurske KaM 8/32 Espoo

Taulukko 42. Mt 11363 PL 3125 Lisämurske 8/32.

Seula mm	Ennen SJYR kesk.	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea	SJYR jälkeen oikea (RAP%)	Muutos
0,063	10,9	5,2	-5,7	10,3	5,4	-4,9
0,125	15,5	7,3	-8,1	14,8	7,4	-7,3
0,25	26,4	12,3	-14,1	25,3	12,7	-12,7
0,5	44,3	20,4	-23,9	42,3	22,3	-20,0
1	62,1	29,7	-32,4	59,9	34,5	-25,4
2	74,2	37,3	-36,9	72,3	45,0	-27,3
4	83,7	45,2	-38,4	82,6	57,0	-25,6
8	92,2	58,9 (23,7)	-33,3	92,4	71,6 (54,4)	-20,8
16	99,1	80,9 (16,4)	-18,2	99,0	89,1 (38,6)	-9,9
31,5	100,0	99,0 (65,5)	-0,1	100,0	96,4 (100)	-3,6
45	100,0	100,0 (0)	0,0	100,0	96,8 (0)	-3,2



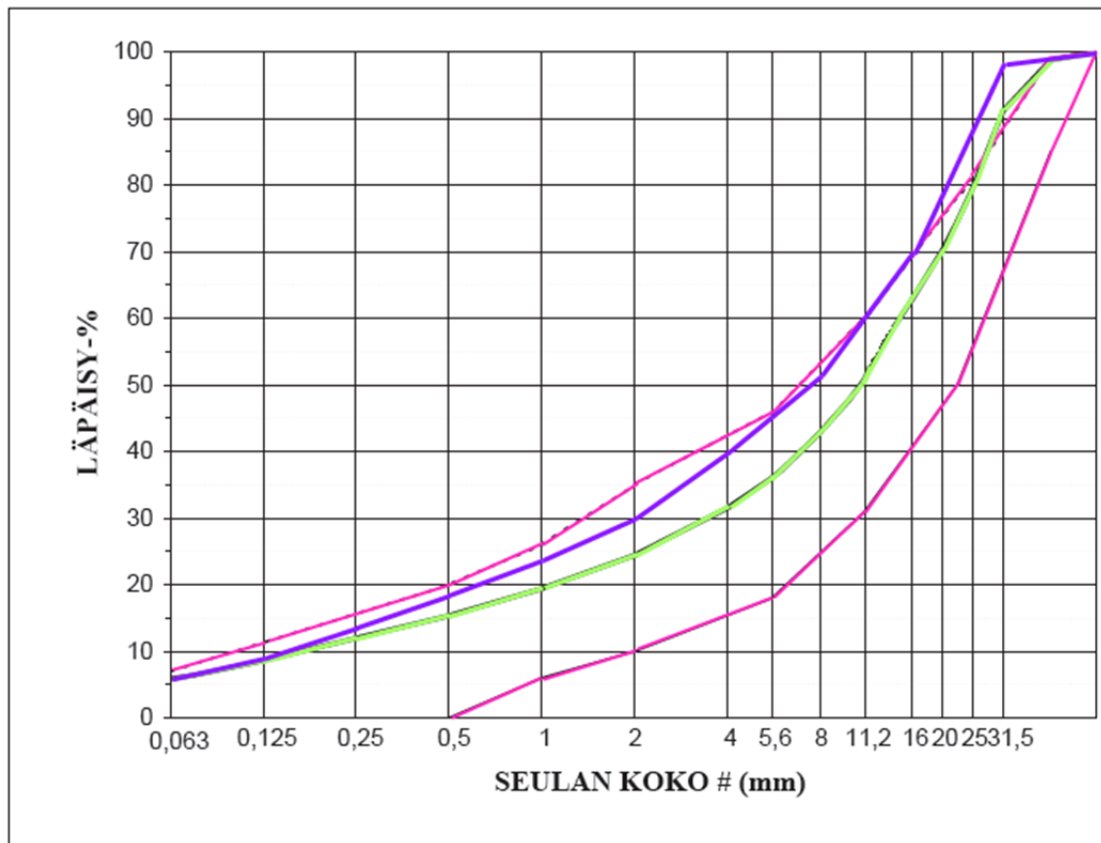
Kuva 36. Rakeisuus PL 3125 Oikea.

Lisämurske KaM 0/56 Hämeenlinna

Raja-arvot ennen sekoitusjyrsintää ovat murskeiden 0/32 ja sekoitusjyrsinnän jälkeen murskeiden 0/45 raja-arvoja.

Taulukko 43. Mt 2846 Lisämurske 0/56.

Seula mm	Ennen SJYR vasen	SJYR jälkeen vasen (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR kesk.	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea	SJYR jälkeen oikea (RAP%)	Muutos
0,063	5,9	5,9	0,0	5,1	4,9	-0,2	5,0	3,7	-1,3
0,125	9,1	8,6	-0,5	7,9	7,5	-0,4	7,6	5,7	-1,9
0,25	13,8	12,0	-1,8	12,0	11,0	-1,0	11,6	8,5	-3,1
0,5	18,3	15,3	-3,0	15,8	14,3	-1,5	15,2	11,2	-4,0
1	23,6	19,4	-4,2	20,1	18,3	-1,8	19,8	13,9	-5,9
2	30,3	24,4	-5,9	25,5	23,5	-2,0	25,6	17,3	-8,3
4	39,5	31,5	-8,0	33,3	31,3	-2,2	33,6	22,2	-11,4
8	51,6	42,8 (7,5)	-8,8	44,6	42,4 (3,5)	-2,2	44,6	30,2 (8,4)	-14,4
16	70,0	62,9 (4,4)	-7,1	61,6	59,1 (6,3)	-2,5	61,4	46,3 (3,9)	-15,1
31,5	98,4	91,1 (10,2)	-7,7	94,7	79,1 (3,5)	-15,6	95,1	77,1 (16,6)	-18,0
45	99,1	98,8 (51,6)	-0,3	97,0	84,1 (88,3)	-12,9	97,2	86,1 (50,2)	-11,1



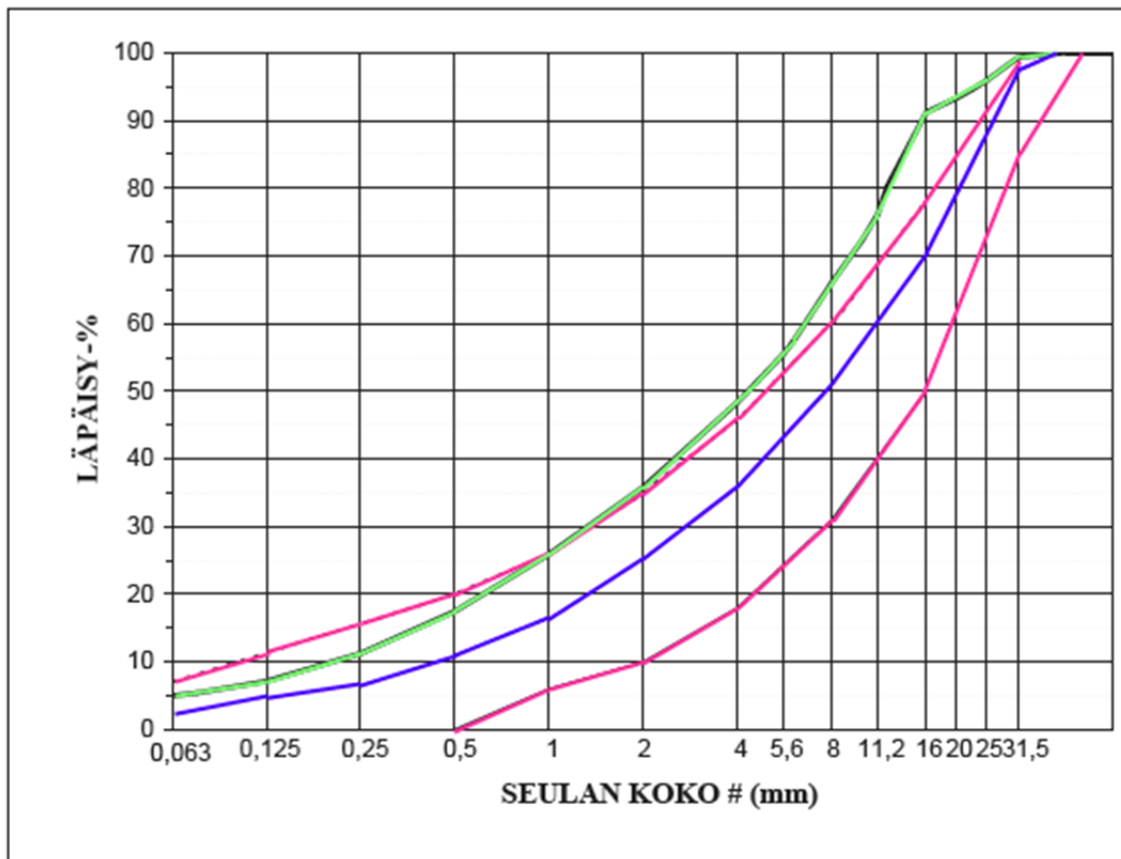
Kuva 37. Rakeisuus Mt 2846 PL 300 Vasen, punaisella 0/45 murskeen raja-arvot.

Lisämurske KaM 0/32 Hyvinkää

Hyvinkään kohteista otettiin maanäytteitä ennen sekoitusjyrsintää ainoastaan oikealta puolelta tietä. Maanäytteet otettiin pauilta 2800 ja 3000.

Taulukko 44. Mt 11491 SJYR 200 mm, lisämurske KaM 0/32 pl 2800.

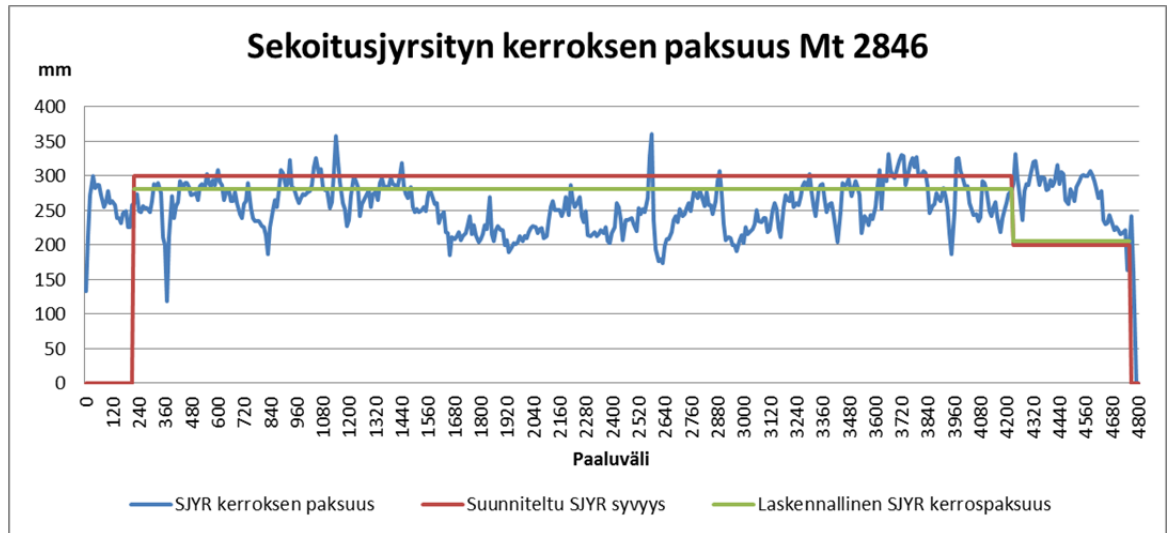
Seula mm	Ennen SJYR oikea	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea	SJYR jälkeen oikea (RAP%)	Muutos
0,063	1,9	4,0	2,1	1,9	5,0	3,1
0,125	3,0	5,6	2,6	3,0	7,1	4,1
0,25	5,4	10,0	4,6	5,4	11,3	5,9
0,5	9,5	17,6	8,1	9,5	17,5	8,0
1	16,2	26,5	10,3	16,2	25,9	9,7
2	24,7	35,9	11,2	24,7	35,8	11,1
4	36,5	47,8	11,3	36,5	48,4	11,9
8	53,7	64,1 (42,1)	10,4	53,7	66,1 (55,8)	12,4
16	77,1	87,2 (53,0)	10,1	77,1	91,2 (41,7)	14,1
31,5	96,2	97,9 (62,5)	1,7	96,2	99,3 (0)	3,1
45	100,0	100,0	0,0	100,0	100,0 (0)	0,0



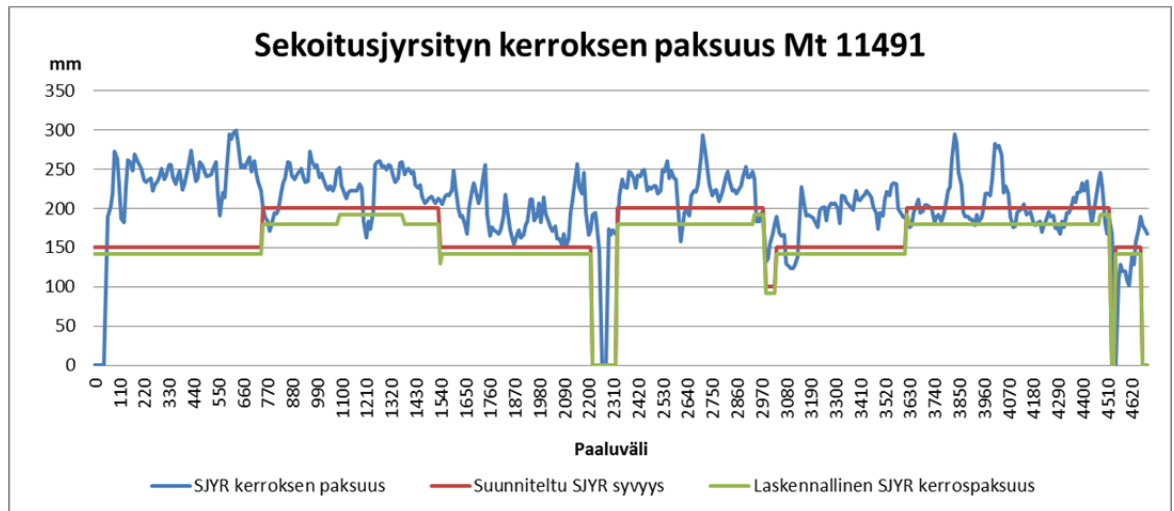
Kuva 38. Rakeisuus Mt 11491 PL 2800 Oikea, Lisämurske KaM 0/32

4.5 Jyrsintäsyvyys

Sekoitusjyrsintäkerroksen paksuutta tutkittiin maatulokaluotausten avulla kohteissa Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka ja Mt 11491 Uusikartano - Palopuro. Kuvissa 39 ja 40 näkyvät toteutunut sekoitusjyrsityn kerroksen paksuus sekä suunniteltu jyrsintäsyvyys ja laskennallinen sekoitusjyrsityn kerroksen paksuus.



Kuva 39. Sekoitusjyrsitynkerroksen paksuus Mt 2846.



Kuva 40. Sekoitusjyrsitynkerroksen paksuus Mt 11491.

Taulukossa 45 ovat kohteiden eri sekoitusjyrsintäsyvyydet ja niitä vastaavat sekoitusjyrsittyjen kerrosten paksuudet.

Taulukko 45. Sekoitusjyrsintäsyvyys ja toteutuneet sekoitusjyrsityn kerroksen paksuudet.

Kohde	Sekoitus- jyrsinnän syvyys/ lisämurske	Laskennal- linen SJYR kerros- paksuus	Keski- arvo	MIN	25 % fraktiili	50 % fraktiili	75 % fraktiili	MAX
mm								
Mt 2846	300 /100	281	256	119	228	255	282	360
Mt 11491	200 /100	180	218	158	195	220	239	295
Mt 11491	200 /50	192	222	163	191	226	251	261
Mt 11491	150 /50	142	201	0	179	207	236	299
Mt 11491	100 /50	92	154	132	136	154	168	180

4.6 Lujuus

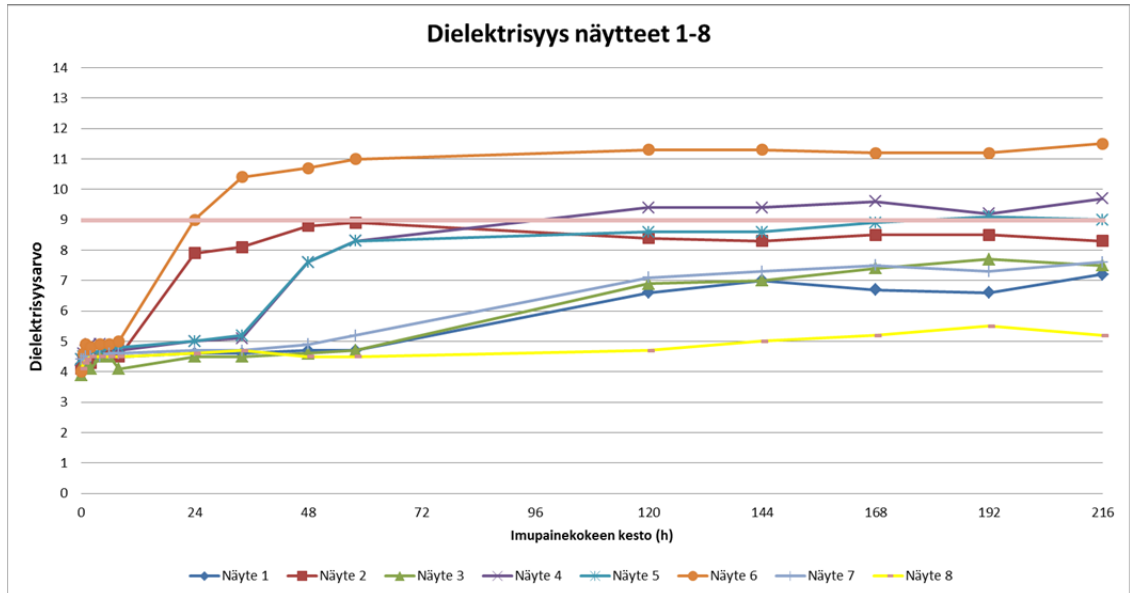
Taulukossa 46 on sekoitusjyrsitylle materiaalille tehtyjen Los Angeles- kokeiden tulokset. Eri sekoitusjyrsintänäytteiden rouhepitoisuudet (%) vaihtelivat kokeissa 14,2 – 54,3 välillä. Lisäksi tehtiin kolme eri vertailunäytettä, joissa yhdessä oli ainoastaan asfaltti-rouhetta, yhdessä lisämursketta ja yhdessä kantavan kerroksen ja lisämurskeen kiviainesta.

Taulukko 46. Los Angeles -kokeen tulokset.

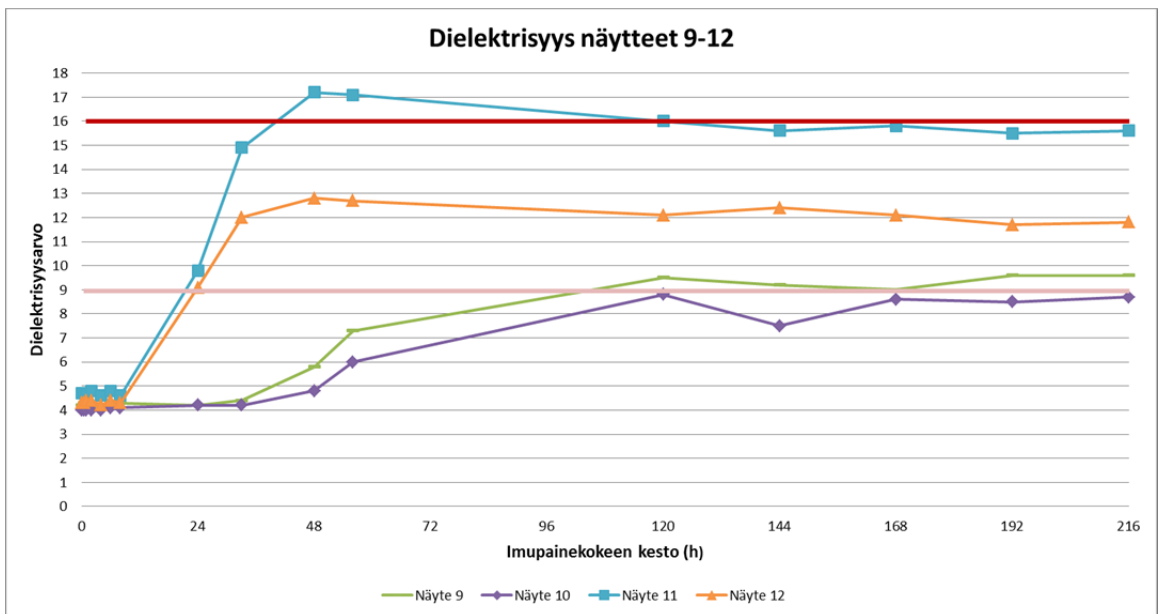
Kohde/ Sekoitusjyrsintäsyvyys/lisämurske mm	Lajite 10/11,2 mm %		Lajite 11,2/14 mm %		Rouhepi- toisuus %	Los Angeles- luku
	Kiviaines	RAP	Kiviaines	RAP		
Mt 2846 SJYR 300/ LM 100	85.1	14.9	86.2	13.8	14,2	18
Mt 11491 SJYR 200/ LM 50	54.2	45.8	53.9	46.1	46,0	19
Mt 11491 SJYR 200/ LM 100	44.7	55.3	46.5	53.5	54,3	18
Mt 11491 SJYR 150/ LM 50	52.9	47.1	47.1	52.9	50,6	19
Mt 11491 SJYR 100/ LM 50	64.6	35.4	59.6	40.4	38,4	20
Mt 11491 Kiviaines (vanha kantava + LM)	100.0	0.0	100.0	0.0	0,0	21
Mt 11491 RAP	0.0	100.0	0.0	100.0	100,0	17
Mt 11363 Lisämurske KaM 8/32	100.0	0.0	100.0	0.0	0,0	26
Mt 11363 Näyte 1 SJYR 300/ LM 100	67.0	33.0	54.3	45.7	40,6	21
Mt 11363 Näyte 2 SJYR 300/ LM 100	50.0	50.0	50.0	50.0	50,0	21

4.7 Vedenimeytyminen

Imupainekokeen tulokset ovat kuvissa 41 ja 42. Raja-arvo hyvälle kantavan kerroksen materiaalille on 9 ja ongelmallisen kantavan kerroksen materiaalin raja-arvo on 16. Taulukossa 47 ovat tiedot näytteistä. Lisää tietoja imupainekokeesta on liitteessä E.



Kuva 41. Imupainekokeen tulokset. Näytteet 1- 8.



Kuva 42. Imupainekokeen tulokset. Näytteet 9-12, Espoo Mt 11363

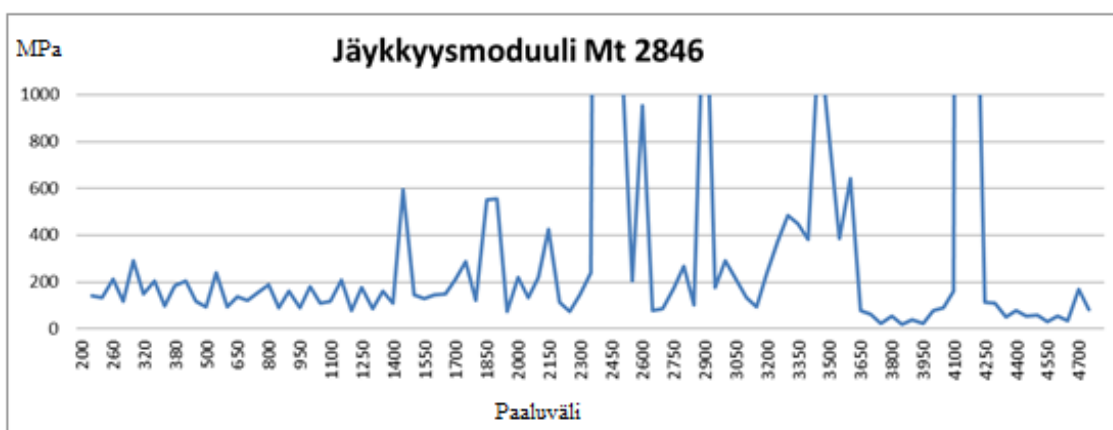
Taulukko 47. Imupainekokeiden näytteiden tiedot.

Näyte	Tie	Dielektrisyys kokeen lopussa	Vesipitoisuus näytteen yläpinta 30 -50 mm %	Vesipitoisuus loppuosa näytteestä %	Hienoaines- pitoisuus yläpinta %
1	Mt 11491	7,2	1,8	4,1	1,2
2	Mt 13844	8,3	3,2	5,2	5,1
3	Mt 11491	7,5	2,3	5,0	2,3
4	Mt 11491	9,7	2,9	4,9	3,9
5	Mt 11491	9,0	3,3	5,0	3,6
6	Mt 2846	11,5	3,6	6,1	6,0
7	Mt 11491	7,6	2,1	4,3	1,6
8	Mt 11491	5,2	1,4	3,9	0,7
9	Mt 11363	9,6	2,3	4,1	1,9
10	Mt 11363	8,7	2,1	4,0	1,6
11	Mt 11363	15,6	4,3	5,6	5,4
12	Mt 11363	11,8	4,5	6,0	5,2

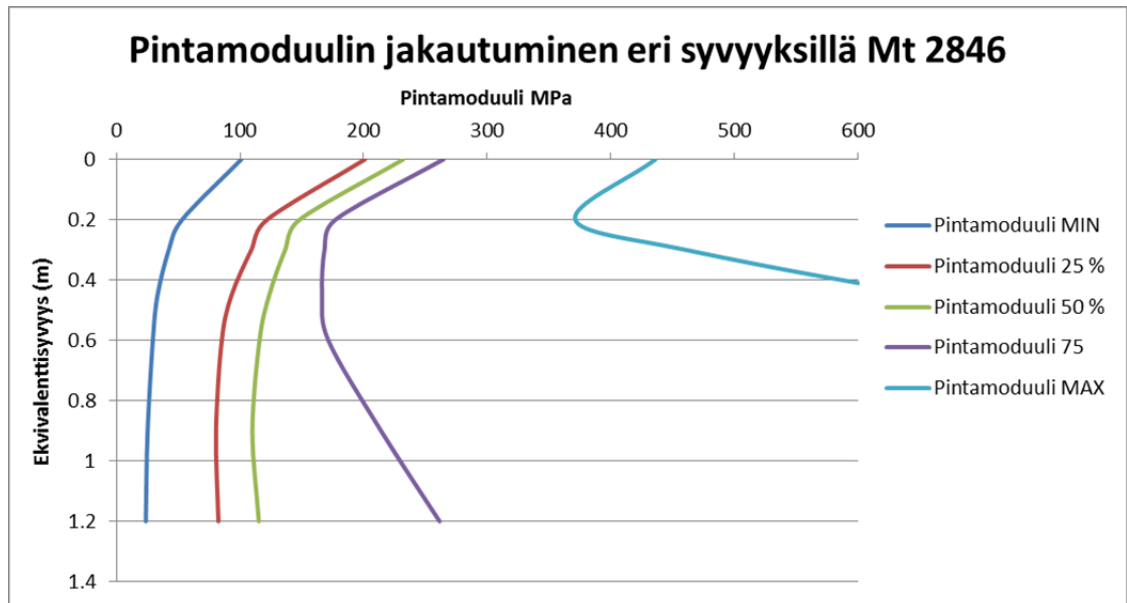
4.8 Jäykkyysmoduuli

Sekoitusjyrsityn kerroksen jäykkyysmoduuli määritettiin takaisinlaskennan avulla. Takaisinlaskennan tulokset kohteen Mt 2846 sekoitusjyrsitylle materiaalille on esitetty kuvassa 43. Takaisinlaskennassa oletettiin päällysteen moduuliksi 2500 MPa, jakavan kerroksen moduuliksi 200 MPa ja pohjamaan moduuliksi 100 MPa. Eri rakennekerroksille annettiin vakioarvot, koska muuten päällysteen jäykkyysmoduuli sai epärealistisen suuria arvoja.

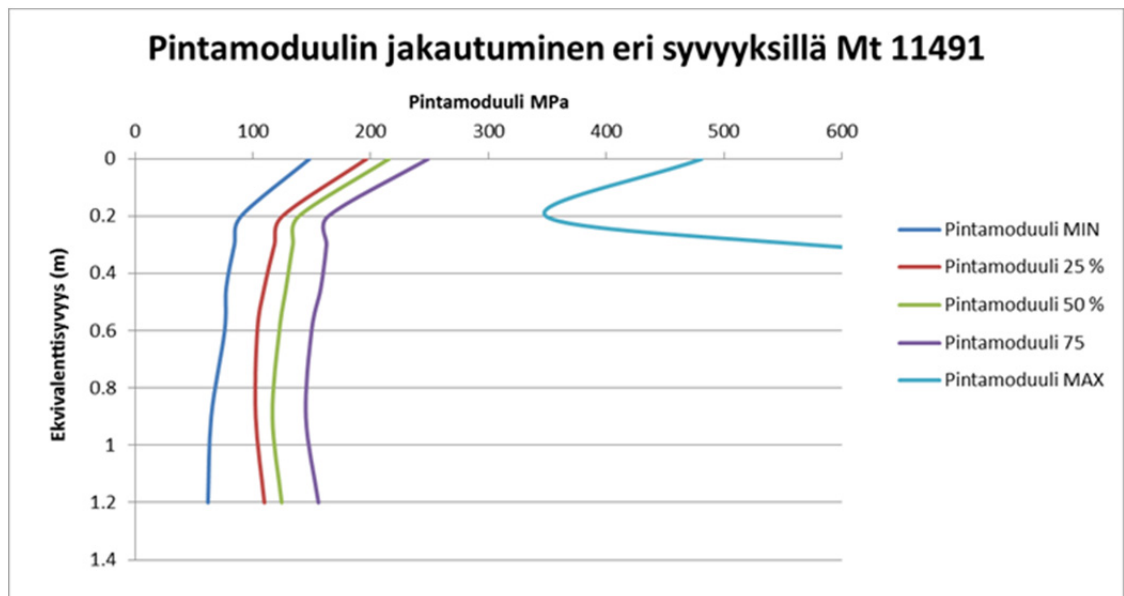
Takaisinlaskennalla saadut taipumasuppilot erosivat paljon pudotuspainolaitemittausten avulla saaduista taipumasuppiloista, minkä vuoksi sekoitusjyrsityn kerroksen jäykkyysmoduuli määritettiin myös pintamoduulien avulla. Tulokset eri syvyyksille määritetyistä pintamoduuleista ovat kuvissa 44-45.



Kuva 43. Takaisinlaskennalla määritetty jäykkyysmoduuli Mt 2846



Kuva 44. Pintamoduulit Mt 2846



Kuva 45. Pintamoduulit Mt 11491.

5 Tutkimustulosten tarkastelu

5.1 Vaurioituminen ja kunto

Tutkimuksessa mukana olleet vanhat sekoitusjyrsintäkohteet ovat hyvässä kunnossa. Valitut kohteet olivat hitaasti vaurioituvia. Kohteissa on yksittäisiä heikkoja kohtia, joissa vaurioitumisnopeus on yli PAB-V -teille määritetyn raja-arvon. Iäkkäämmissä 8-9 vuotta vanhoissa sekoitusjyrsinnöissä 75 % kohteiden pituudesta oli vähintään hyvässä kunnossa ja 90 % pituudesta oli vähintään tyydyttävässä kunnossa. Nuoremmissa 3-4 vuotta vanhoissa sekoitusjyrsinnöissä yli 90 % kohteiden pituudesta oli hyvässä kunnossa.

Tien käyttäjän vauriosumma, mikä kertoo kohteiden vaurioiden olevan ajomukavuutta heikentäviä, on selvästi korkeampi kuin tavallinen vauriosumma. Yleisimmät vauriot kohteissa olivat verkkohalkeamat ja leveät pituushalkeamat. Tien käyttäjän vauriosumman maksimiarvot olivat muutamassa kohteessa erittäin huonot. Kohde Mt 18771 Koni oli tien käyttäjän vauriosumman mukaan tyydyttävässä kunnossa, vaikka se tavallisen vauriosumman mukaan oli hyvässä kunnossa.

Pituussuuntainen tasaisuus oli kohteissa hyvä. Heikoimmat IRI -arvot olivat Taalintehaan Pt:llä, jossa 25 % tiestä oli tyydyttävässä kunnossa ja IRI:n maksimiarvo oli huono. Poikkisuuntainen tasaisuus oli kohteissa myös hyvä. Urasyvyyden maksimiarvot olivat kohteissa vähintään hyvät. Alempiasteisella tiestöllä poikkisuuntaisesta tasaisuudesta enemmän kertova harjanteen korkeus oli myös pieni ja yli 20 mm harjanteen korkeuksia oli vain kahdessa eri kohteessa.

Vanhon SJYR -kohteiden vaurioituminen

Työssä tutkittiin kolmea vanhaa sekoitusjyrsittyä kohdetta tarkemmin. Kohteista oli tarkoitus selvittää sekoitusjyrsintöjen vaurioitumisen aiheuttaneet yleisimmät syyt. Kohteista otettiin maanäytteitä, joista selvitettiin rakennekerrosten paksuudet, hienoainespitoisuus, vesipitoisuus ja sideainepitoisuus.

Taulukko 48. Rakennekerrosten vesipitoisuuden raja-arvot (Tiehallinto 2001a)

Rakennekerros	Hyvin kuivatettu rakenne	Normaalisti kuivatettu rakenne	Huonosti kuivatettu rakenne
Vesipitoisuus paino-%			
Kantava kerros (murske tai sora)	2	3	4
Jakava kerros (murske tai sora)	3	4	5
Suodatinkerros (hiekkä tai sora)	4	8	12

Yleisin syy kohteiden vaurioitumiselle oli kantavan kerroksen liian suuri vesipitoisuus. Kohteessa Mt 11337 Pirttimäki - Takkula kantavan kerroksen vesipitoisuus oli melkein koko kohteella vähintään 4,0, mikä on huonosti kuivatetun rakenteen raja-arvo kantavalla kerroksella.

Toinen yleinen vaurioitumisen aiheuttanut syy oli kantavan kerroksen suuri hienoainespitoisuus. Kohteessa Mt 12645 Vasarainen vaurioitumattomissa kohdissa hienoainespitoisuus oli 4,6- 5,4 ja vaurioituneissa kohdissa 6,0- 7,3. Kantavan kerroksen hienoainespitoisuuden raja-arvo on 7,0 kalliomurskeilla.

5.2 Vöyryn koekohde

Eri stabilointien ja sekoitusjyrsinnän vaikutuksia vaurioitumiseen verrattiin kohteessa Mt 718 Vöyri - Kaitso. Tie on yhdeksän vuotta toimenpiteiden jälkeen hyvässä kunnossa. Eri toimenpiteiden pituussuuntaisessa tasaisuudessa ei ole suuria eroja. Urasyvyys on menetelmillä MHST 150 ja VBST 100 +1 hieman muita menetelmiä suurempi.

Suurimmat erot teiden kunnossa ovat eri osuuksien vaurioitumisessa. Eniten vaurioitumista on tapahtunut vaahtobitumistabiloinneilla VBST 100 ja VBST 150. Myös sekoitusjyrsintä on selvästi muita toimenpiteitä enemmän vaurioitunut. Vauriosummat ovat yhdeksän vuotta toimenpiteen jälkeen suuremmat kuin ennen rakenteen parantamistoimenpiteitä. Eri parantamismenetelmien osuudet kohteessa olivat lyhyitä keskimäärin 200 metriä pitkiä. Sen takia yksittäisen sadan metrin vauriosumman vaikutus koko toimenpiteelle määritettyyn keskimääräiseen vauriosummaan oli korkea.



Kuva 46. Mt 718 paikkausta ja SJYR -kohteen verkkohalkeamaa.

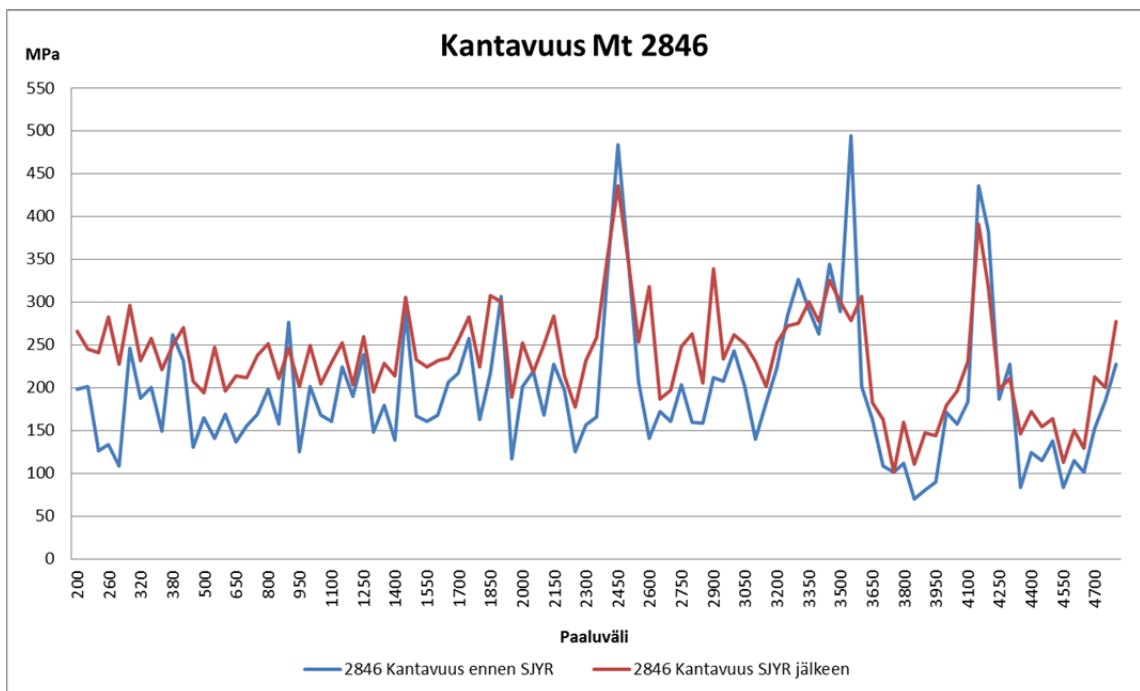
5.3 Kantavuus

Sekoitusjyrsinnän vaikutukset kantavuuteen selvitettiin kahdessa kohteessa Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka ja Mt 11491 Uusikartano - Palopuro. Pudotuspainolaitemittaukset tehtiin ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen. Kohteessa Mt 2846 sekoitusjyrsintä paransi tien kantavuutta (Kuva 47). Ennen sekoitusjyrsintää tien keskimääräinen kantavuus oli 195 MPa ja sekoitusjyrsinnän jälkeen 235 MPa. Sekoitusjyr-

sintä paransi tien kantavuutta keskimäärin 40 MPa. Alhaisin mitattu kantavuus oli ennen sekoitusjyrsintää 70 MPa ja sekoitusjyrsinnän jälkeen 101 MPa. Alhainen kantavuus johtui tierakenteen huonosta kuivatuksesta.

Kohteen alkuosassa paaluilla 220- 390 kokeiltiin sekoitusjyrsinnässä karkeampaa lisämursketta KaM 0/56. Kantavuus ennen sekoitusjyrsintää oli osuudella keskimäärin 179 MPa ja sekoitusjyrsinnän jälkeen 250 MPa. Sekoitussjyrsintä paransi tien kantavuutta keskimäärin 71 MPa. Ennen sekoitusjyrsintää alhaisin mitattu kantavuus osuudella oli 109 MPa ja sekoitusjyrsinnän jälkeen 221 MPa.

Kohteen loppuosassa lisämurskeena käytettiin KaM 0/32. Kantavuus parani 37 MPa osuudella, jossa lisämurskekerroksen paksuus oli 100 mm.



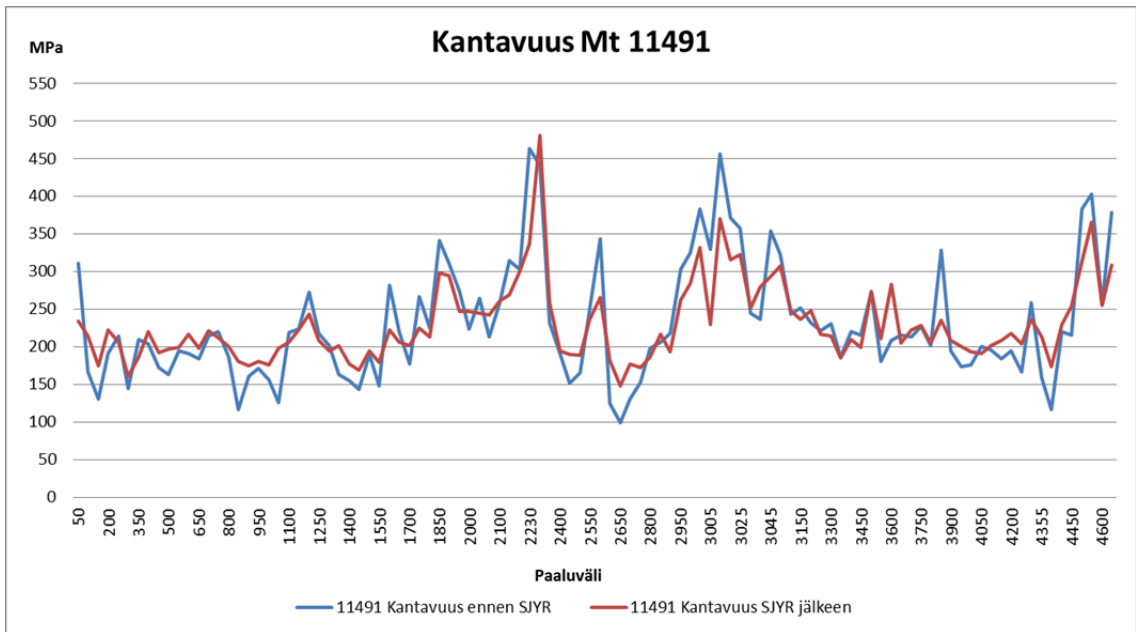
Kuva 47. Sekoitussjyrsinnän vaikutukset tien kantavuuteen Mt 2846.

Hyvinkään kohteessa sekoitusjyrsintä ei parantanut tien keskimääräistä kantavuutta (kuva 48). Kohde päällystettiin alkuperäisistä suunnitelmista poiketen AB -päällysteellä, minkä vuoksi kantavuuden odotettiin parantuvan paljon. Syynä voi olla toisen pudotuspainolaitemittauksen liian aikainen ajankohta, koska päällyste oli kohteessa vielä melko tuore. Toinen mahdollinen syy on kohteen hyvät kantavuuden arvot ennen sekoitusjyrsintää. Kohteen keskimääräinen kantavuus ennen sekoitusjyrsintää oli 230,8 MPa ja sekoitusjyrsinnän jälkeen 229,8 MPa. Keskimääräinen kantavuus pysyi ennallaan.

Sekoitusjyrsintä paransi kuitenkin kohteessa olleita heikompien osuuksien kantavuutta. Alhaisin mitattu kantavuuden arvo ennen sekoitusjyrsintää oli 99 MPa ja sekoitus-

jiyrinnän jälkeen 148 MPa. Osuuksilla, joissa kantavuus oli ennen sekoitusjiyrintää alle 200 MPa, kantavuus parani keskimäärin 27 MPa.

Hyvinkään kohteessa Mt 11491 saavutettiin kuitenkin kohteelle asetettu tavoite kantavuus 145 MPa koko sekoitusjiyrintäosuudella. Hämeenlinnan kohteessa Mt 2846:lla noin 10 prosenttia tutkitusta sekoitusjiyrinnästä jäi tavoitekantavuutena olleen 165 MPa alapuolelle.



Kuva 48. Sekoitusjiyrinnän vaikutukset kantavuuteen Mt 11491.

Sekoitusjiyrintäsyvyyden ja lisämurskeen kerrospaksuuden vaikutukset kantavuuteen

Hyvinkään kohteessa käytettiin kahta lisämurskeen kerrospaksuutta: 50 mm ja 100 mm. Sekoitusjiyrinnässä käytettiin kolmea eri jiyrintäsyvyyttä: 100 mm, 150 mm ja 200 mm. Taulukosta 41 voidaan huomata, että ainoastaan 100 mm lisämurskekerroksilla kohdissa kantavuus kasvoi. Kohtiin, joissa oli kantavuuspuutteita, käytettiin 100 mm lisämurskepaksuutta.

Kantavuuden paraneminen kohteessa perustuu vanhan ja rikkoutuneen päällysteen vaihtumiseksi ehjään päällysteeseen sekä rakennekerrosten paksunemiseen. Lisäksi asfalttirouheen lisäämisen kantavaan kerrokseen on todettu Yhdysvalloissa tehdyissä tutkimuksissa lisäävän kantavan kerroksen jäykkäysmoduulia.

Rakenteen eri parantamistoimenpiteiden vaikutukset kantavuuteen

Stabiloinnit parantavat kantavuutta paremmin kuin sekoitusjiyrintä, mutta ero ei ole merkittävän suuri. Sekoitusjiyrintä paransi Vöyrin koekohteessa kantavuutta noin 40 MPa. Stabilointien vaikutukset kantavuuden paranemiseen vaihtelivat noin 50-100 MPa välillä. Kantavuuden parantuminen kohteissa on melko suurta, koska kantavuus ennen toimenpiteitä oli jo ennestään hyvä. Vöyrin koekohteen mittaustuloksissa toimenpitei-

den kanssa samana vuonna tehdyssä mittauksissa kantavuudet olivat alhaisempia kuin ennen toimenpiteitä. Sama tulos oli myös kohteelle Mt 11491 tehdyissä kantavuusmittauksissa.

5.4 Maatutkaluotaus ja jysrintäsyvyys

Jysrintäsyvyys

Sekoitusjysrintäsyvyys ei ole sama asia kuin lopullisen sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus. Lisämursketta ei tiivistetä lisäämisvaiheessa yhtä tiiviiksi kuin kantava kerros. Sekoitusjysrintän jälkeen tiivistetyn kerroksen paksuuden pitäisi olla pienempi kuin jysrintäsyvyyden. Lisämurskeen kerrospaksuuden ollessa 100 mm sekoitusjysrintetty kerros on noin 20 mm ohuempi kuin jysrintäsyvyys. Lisämurskekerroksen ollessa 50 mm sekoitusjysrintetty kerros on noin 8 mm ohuempi kuin jysrintäsyvyys. Taulukon 49 arvojen laskennassa on käytetty Andament Oy:n käyttämiä materiaalien tilavuuspainoja.

Taulukko 49. Sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus.

Sekoitus- jysrintäsyvyys mm	Lisämurske- kerroksen paksuus mm	Päällysteen paksuus mm	Vanhan kantavan kerroksen paksuus mm	Sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus mm
200	50	40	110	192,2
200	100	40	60	180,0
150	50	40	60	142,2
100	50	40	10	92,2

Kohteissa Mt 2846 ja Mt 11491 tehdyissä maatutkauksissa selvitettiin sekoitusjysrintettyjen kohteiden kerrospaksuudet. Kohteessa Mt 2846 sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus oli selvästi pienempi kuin suunniteltu sekoitusjysrintäsyvyys. Kohteen keskimääräinen sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus oli 256 mm, mikä on 44 mm pienempi kuin kohteeseen suunniteltu sekoitusjysrintäsyvyys.

Kohteessa Mt 11491 sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus oli puolestaan huomattavasti suurempi kuin suunniteltu sekoitusjysrintäsyvyys. Sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus oli keskimäärin 50 mm suurempi kuin suunniteltu sekoitusjysrintäsyvyys, kun jysrintäsyvyys oli 100-150 mm. Sekoitusjysrintäsyvyyden ollessa 200 mm sekoitusjysrintyn kerroksen paksuus oli 20 mm suurempi kuin jysrintäsyvyys.

Sekoitusjysrintettyjen kerroksien paksuudet vaihtelivat paljon. Kohteessa Mt 2846 sekoitusjysrintyn kerroksen paksuuden keskihajonta oli noin 34 mm. Kohteessa Mt 11491 keskihajonnat olivat 27-29 mm, kun jysrintäsyvyys oli 200 mm. Suurin keskihajonta 52 mm oli 150 mm jysrintäsyvyydellä. Pienin sekoitusjysrintyn kerroksen paksuuden keski-

hajonta oli 100 mm jyräsyvytydellä, minkä keskijajonta oli noin 18 mm. Pienin keskijajonta selittyy muita jyräsyvytyksiä lyhyemmällä osuudella.

5.5 Materiaalimainaisuudet

Lujuus

Sekoitusjyräsytytyn materiaalin lujuus täyttää kantavalle kerrokselle asetetun raja-arvon (taulukko 46). Kaikissa kolmessa kohteessa LA oli alle 30. Los Angeles -luku vaihteli välillä 18- 21. Huonoimmat tulokset saatiin Espoon kohteesta, jossa LA oli 21. Espoossa käytetyn lisämurskeen LA oli huonompi kuin sekoitusjyräsytytyn materiaalin LA, joten lisämurskeen lisääminen heikensi kantavan kerroksen lujuutta.

Hyvinkään kohteen Los Angeles-kokeista jääneelle ylimääräiselle materiaalille tehtiin kaksi vertailunäytettä, joista toisessa oli ainoastaan asfalttirouhetta ja toisessa kiviainesta. Kiviaineksessa oli osa vanhaa kantavaa kerrosta ja osa lisämurskeen kiviainesta. Asfalttirouheen LA oli 17, kun taas kiviaineksen oli 21. Sekoitusjyräsytyssä materiaalissa asfalttirouhe on kovempaa kuin kiviaines, mikä johtuu asfaltin valmistuksessa käytettävästä lujemmasta kiviaineksesta.

Kokeen tuloksena on, että asfalttirouhepitoisuuden kasvaminen lisää sekoitusjyräsytytyn materiaalin lujuutta, mikä on ristiriidassa Yhdysvalloissa tehtyjen Micro Deval -kokeiden kanssa. Los Angeles -kokeessa käytetyn materiaalin raekoko on 10- 14 mm. Asfalttirouheet, jotka kuuluvat kyseiselle rakeisuusvälille ovat suurimmaksi osaksi bitumipäälysteisiä kiviä. Suuremmalle raekoolle tehtävä lujuuden määrittäminen voisi antaa heikompiä tuloksia. Tutkimuksessa huomattiin asfalttikokkareiden murenevan yllättävän helposti.

Vedenimeytyminen

Imupainekokeiden tulokset olivat vaihtelevia. Kahdestatoista näytteestä yksi ylitti ongelmallisen kantavan kerroksen materiaalin raja-arvon 16,0 mutta näytteen dielektrisyysarvo laski kokeen aikana alle raja-arvon. Neljä muuta näytettä ylitti hyvän raja-arvon 9,0. Seitsemän näytettä kahdestatoista oli imupainekokeen perusteella hyvää kantavan kerroksen materiaalia.

Korkea hienoainespitoisuus lisäsi dielektrisyysarvoa. Yhdessäkään näytteessä ei hienoainespitoisuus kuitenkaan ollut suurempi kuin kantavalle kerrokselle asetettu raja-arvo. Huonoimmat dielektrisyysarvot saivat Espoon näytteet paalulta 3125. Samalle materiaalille määritettiin myös rakeisuus (kuva 36). Materiaali ei täyttänyt kantavalle kerrokselle asetettuja raja-arvovaatimuksia, mikä myös selittää heikot imupainekokeiden tulokset.

Näytteet, joissa oli silmämääräisesti paljon rouhetta, saivat hyviä arvoja imupainekokeessa. Samoissa näytteissä oli myös hienoainespitoisuus alhaisempi. Kuvaaja hienoainespitoisuuden vaikutuksesta materiaalin dielektrisytyteen on liitteestä E.

Jäykkyysmoduuli

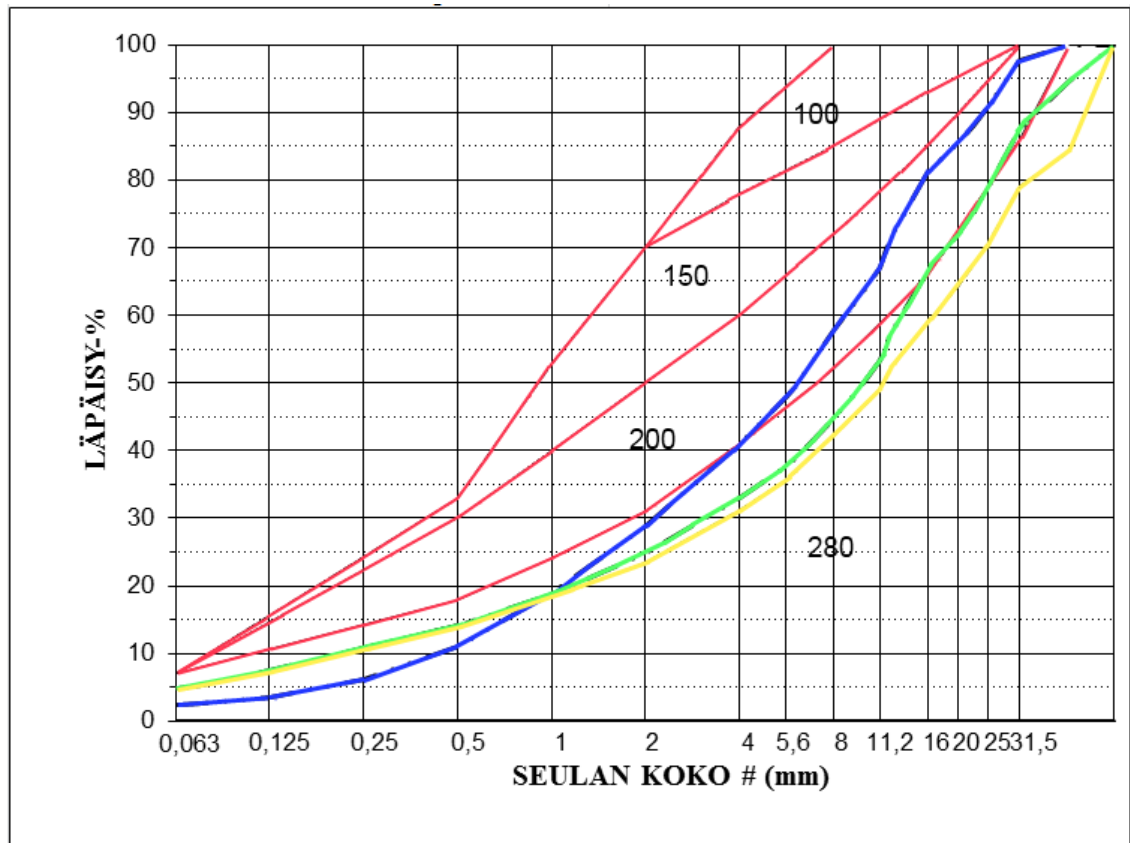
Asfalttirouheen lisäämisen on todettu lisäävän kantavan kerroksen jäykkyyttä Yhdysvalloissa tehdyissä tutkimuksissa. Tässä työssä arvioitiin suomalaisten sekoitusjyrsittyjen materiaalien jäykkyysmoduuli takaisinlaskennan ja pintamoduulien avulla. Takaisinlaskenta soveltui heikosti kohteiden jäykkyysmoduulien arvioimiseen. Päälysteen, jakavan kerroksen ja pohjamaan jäykkyysmoduuleille piti antaa vakioarvo, jotta sekoitusjyrsityn kerroksen jäykkyysmoduulia pystyttiin laskemaan. Laskennan avulla saatu taipumasuppilo erosi paljon pudotuspainolaitemittausten avulla saadusta taipumasuppilosta, minkä vuoksi jäykkyysmoduulia arvioitiin myös pintamoduulien avulla.

Takaisinlaskennassa kohteelle Mt 2846 määritetty jäykkyysmoduuli oli suurimmaksi osaksi alle 200 MPa. Samasta kohteesta määritetty pintamoduuli 0,2 metrin syvyydellä oli myös keskimäärin alle 200 MPa. Myös kohteessa Mt 11491 sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyysmoduuli oli keskimäärin alle 200 MPa. Kantavan kerroksen murskeen jäykkyysmoduuli vaihtelee yleensä 200-700 MPa välillä, joten sekoitusjyrsitty materiaali on jäykkyysmoduulin puolesta heikompaa kuin kantavan kerroksen murske.

Kuvassa 49 on esitetty murskeiden rakeisuuteen perustuva jäykkyysmoduulin arviointimenetelmä. Menetelmä soveltuu melko hyvin sekoitusjyrsitylle materiaalille. Kuvajasssa on kolmella eri lisämurskeella sekoitusjyrsityn materiaalin rakeisuudet:

- Mt 2846 lisämurske KaM 0/56 (keltainen)
- Mt 2846 lisämurske KaM 0/32 (vihreä)
- Mt 11491 lisämurske KaM 0/32 (sininen)

Kuvaajan perusteella ainoastaan käyttämällä lisämursketta 0/56 saataisiin sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyysmoduuliksi 280 MPa. Kummassakin kohteessa, joissa käytettiin lisämursketta KaM 0/32, jäykkyysmoduuliksi olisi pitänyt tulla 200 MPa. Rakeisuuskäyrien perusteella sekoitusjyrsityn materiaalin alhainen jäykkyysmoduulin syy on kiviainesten 32-45 mm vähäinen osuus rakeisuudesta. Sekoitussjyrsityssä materiaalissa on puolestaan liikaa 2-16 mm kiviainesta.

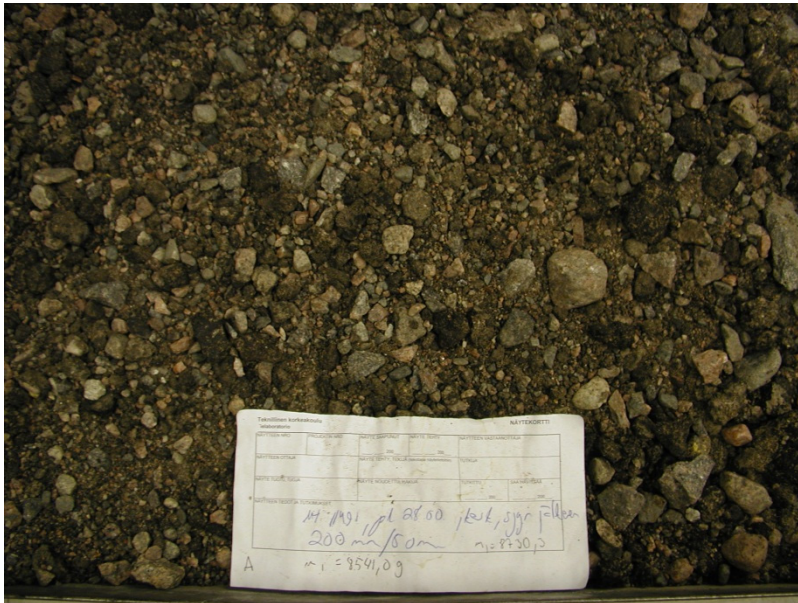


Kuva 49. Jäykkyysmoduuli murskeen rakeisuuden perusteella.

5.6 Kantavan kerroksen rakeisuus

Lisämurske KaM 0/32

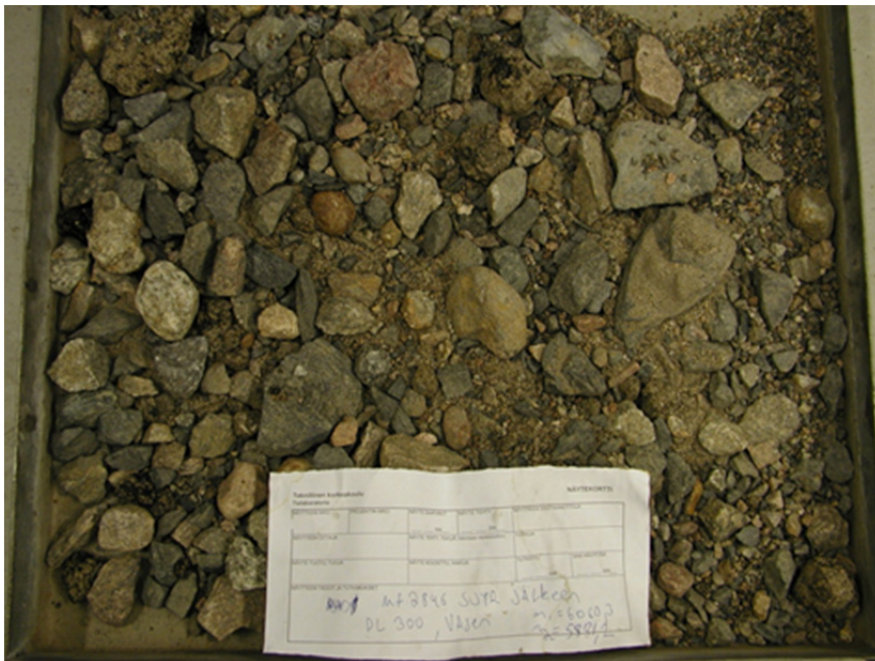
Lisämursketta KaM 0/32 käytettiin kohteissa Mt 11491 ja Mt 2846. Tulokset kohteessa Mt 2846 olivat hyviä. Kantavan kerroksen rakeisuus ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen oli hyvä. Rakeisuuskäyrä sekoitusjyrsinnän jälkeen kulki alempana, raja-arvojen keskellä. Kohteessa Mt 11491 tulokset olivat huonompia. Kohteessa rakeisuus ennen sekoitusjyrsintää oli hyvä, mutta sekoitusjyrsinnän jälkeen kantavan kerroksen rakeisuuskäyrä ei täyttänyt enää materiaalille asetettuja raja-arvoja. Rakeisuudessa oli liikaa yli 2 mm raekokoja.



Kuva 50. Sekoitussjysitty materiaali Mt 11491 PL 2800 kesk, lisämurske KaM 0/32.

Lisämurske KaM 0/56

Hämeenlinnan kohteessa kokeiltiin lisämursketta KaM 0/56. Kohteessa piti suunnitelmien mukaan kokeilla lisämursketta KaM 0/45, mutta huonon saatavuuden takia lisämurske vaihdettiin karkeampaan KaM 0/56 -materiaaliin. Lisämurske sopi kohteeseen hyvin. Rakeisuus ennen sekoitussjysintää täytti 0/32 -murskeen rakeisuusvaatimukset. Sekoitussjysinnän jälkeen kantavan kerroksen rakeisuus sopi parhaiten 0/45 -murskeen rakeisuuteen. Kantavuus parani osuudella 70 MPa.



Kuva 51. Sekoitussjysitty materiaali MT 2846 Lisämurske KaM 0/56.

Lisämurske KaM 8/32

Espoon kohteeseen oli valittu lisämurskeeksi KaM 8/32. Kantava kerros oli ennen sekoitusjyrsintää vaihteleva. Toisessa näytteenottopaikassa kantava kerros oli jo valmiiksi bituminen, luultavasti kyseessä oli vanha stabilointi. Toisessa kohdassa kantava kerros oli suurimmaksi osaksi hiekkaa ja hienoainespitoisuus oli korkea. Kohteeseen oli valittu lisämurske, minkä avulla rakeisuuskäyrää yritettiin korjata oikeaksi. Molemmissa kohdissa lisämurske toimi hyvin ja kantavan kerroksen rakeisuus korjautui lähemmäksi raja-arvojen mukaista kantavaa kerrosta.

Lisämurskeen levitys hankaloitti työmaan liikennettä. Osalla autoilijoista oli suuria ongelmia lisämurskekerroksen päällä ajamisessa. Lisäksi lisämursketta pystyttiin levittämään vain lyhyitä matkoja ennen sekoitusjyrsintää.

Maksimiraekoko

Suurimmassa osassa sekoitusjyrsityistä kohteista asfalttikokkareiden maksimiraekoot olivat suuremmat kuin ohjeissa raja-arvoksi määritetty 50 mm. Suuria asfalttikokkareita syntyy helposti kohtiin, joissa päällystekerros on paksu tai päällyste on kovaa. Verkkohalkeamien kohdalla päällyste rikkoontuu jo valmiiksi vaurioituneilta kohdilta, jolloin asfalttikokkareet ovat verkkohalkeaman silmäkoon kokoisia. Taulukossa 50 ovat kohteista mitatut maksimiraekoot.

Taulukko 50. SJYR -kohteiden asfalttikokkareiden maksimiraekoot.

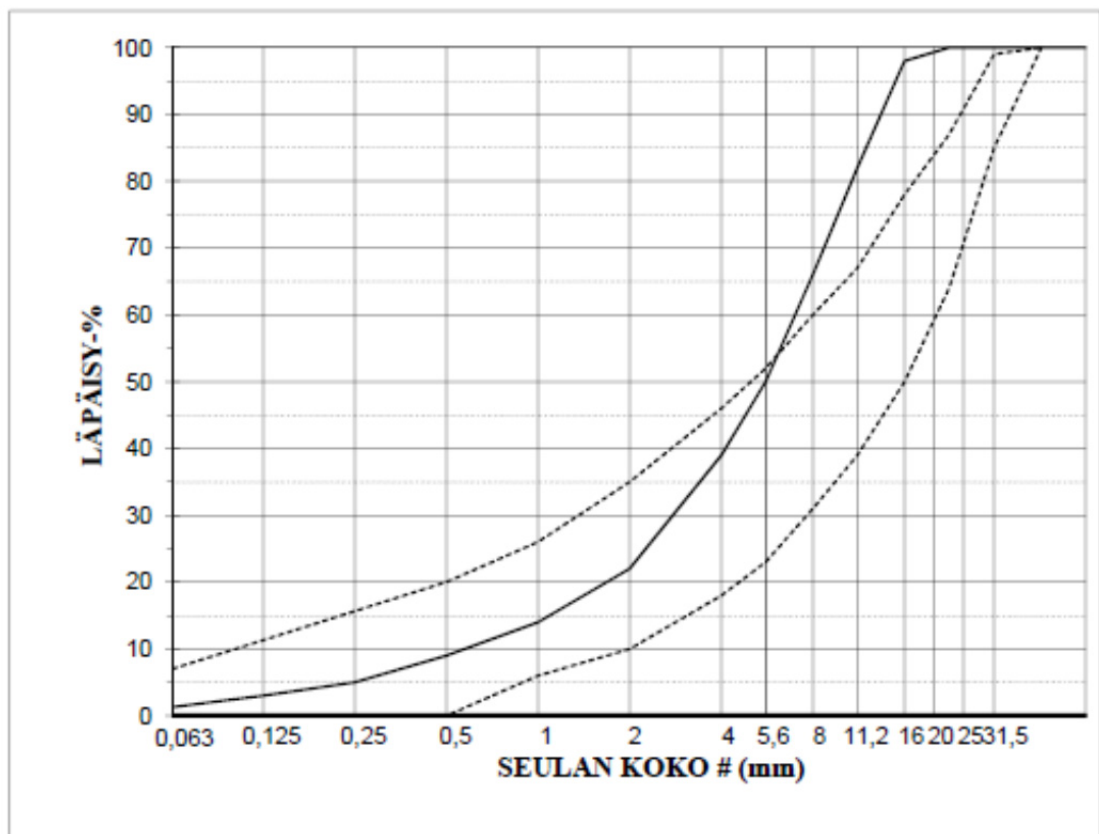
Mt 11491	Maksimi- raekoko mm	Mt 2846	Maksimi- raekoko mm	Mt 11363	Maksimi- raekoko mm
PL 2800 Kesk.	68	PL 300 Vasen	80, 70	PL 1095 Kesk.	Ei yli 50
PL 2800 Oikea	Ei yli 50	PL 300 Kesk.	210	PL 1095 Oikea	Ei yli 50
PL 3000 Kesk.	Ei yli 50	PL 300 Oikea	146, 66	PL 3125 Kesk.	75
PL 3000 Oikea	Ei yli 50	PL 3220 Vasen	118	PL 3125 Oikea	Ei yli 50
PL 3200 Kesk.	Ei yli 50	PL 3220 Kesk.	Ei yli 50		
PL 3200 Oikea	100	PL 3220 Oikea	Ei yli 50		
PL 4025 Vasen	55	PL 4770 Vasen	135		
PL 4025 Kesk.	Ei yli 50	PL 4770 Kesk.	120, 86		
PL 4600 Kesk.	73, 67				
PL 4600 Oikea	93				

Asfalttirouheen rakeisuus

Asfalttirouheen vaikutus kantavan kerroksen rakeisuuteen aiheutti useassa kohdassa rakeisuuskäyrän raja-arvon ylityksen. Asfalttirouheen rakeisuus tulisi ottaa huomioon lisämurskeen valinnassa. Kuvassa 52 on Andament Oy:n käyttämä arvio PAB-V -

rouheen rakeisuudesta. Tutkimuksessa huomattiin hienoainespitoisuuden olevan pienempi kohteissa, joissa asfalttirouhetta oli sekoitusjyrsityssä kerroksissa enemmän. Asfalttirouhe sisältää vähemmän hienoainesta kuin kantavan kerroksen murske, mikä näkyy myös Andament Oy:n rouheen rakeisuuskäyrässä.

Osassa tutkituista näytteistä rakeisuuskäyrä ylitti kantavan kerroksen materiaalille asetetun raja-arvon rakeisuusvälillä 8-16 mm. Tulos johtuu asfalttirouheen raekokojen 2-16 mm suuresta pitoisuudesta. Kohdissa, joissa oli suuria asfalttikokkareita, kantavan kerroksen rakeisuus noudatti paremmin ohjeiden mukaisia raja-arvoja.



Kuva 52. Andament Oy:n arvio PAB-V- rouheen rakeisuudesta. (Andament Oy)

5.7 Lisämurskeen eri levitystapojen vertailu

Kohteessa Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka oli tarkoitus vertailla lisämurskeen levittämistä ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen. Kokeilu kuitenkin epäonnistui, koska sekoitusjyrsinnän jälkeen lisätty lisämurskekerros ei kestänyt liikenteen aiheuttamaa kuormitusta. Skanskan työmaanjohtajan mukaan lisämurskeessa ei ollut tarpeeksi paljon hienoa kiviainesta. Käytetty lisämurske täyttää lisämurskeelle asetetut rakeisuuden raja-arvot, mutta rakeisuudessa oli erittäin vähän alle neljän millimetrin raekokoja. Lisämurskeen rakeisuuskäyrä on liitteessä G.

Lisämurskekerros jouduttiin sekoitusjyrsimään uudelleen jo kertaalleen sekoitusjyrsityn kerroksen kanssa. Kohteesta otettiin kuitenkin maanäytteet rakeisuuden määrittämistä

varten ennen kuin kerros uudelleen sekoitusjyrsittiin. Kohteesta tuli kaksi erilaista rakeisuustulosta: tien vasemmalla kaistalla rakeisuus ei muuttunut juuri ollenkaan ja näytteessä oli asfalttirouhetta vähän. Tien oikealla kaistalla rakeisuus sekoitusjyrsinnän jälkeen muuttui sopimaan paremmin murskeen 0/45 kuin 0/32 -murskeen raja-arvoihin. Rakeisuus muuttui karkeammaksi suurien asfalttikokkareiden takia. Noin puolet 31,5 ja 45 mm seuloille jääneestä aineksesta oli asfalttirouhetta.

Hyvinkään kohteessa huomattiin lisämurskeen levittämistavan vaihtelevan sen mukaan, oliko lisämursketta saatavilla ja ehdittiinkö se levittää ennen sekoitusjyrsintää. Kohteessa lisämurske oli tarkoitus levittää ennen sekoitusjyrsintää, mutta paikoitellen tehtiin kohtia, joissa sekoitusjyrsittiin ennen lisämurskeen lisäämistä. Kohteen loppuosaan ei lisätty lisämursketta ollenkaan. Kohteen loppuosasta otettiin rakeisuuden määrittämistä varten maanäytteitä. Lisämurskeen pois jättäminen ei vaikuttanut kantavan kerroksen rakeisuuteen, näytteissä oli ainoastaan paljon enemmän asfalttirouhetta. Osuuden kantavuus puolestaan laski osuudella paljon alkuperäiseen kantavuuteen verrattuna.

5.8 Sekoitussjyrsinnän tasalaatuisuus

Sekoitusjyrsinnän tarkoituksena on homogenisoida kantava kerros. Sekoitussjyrsitty materiaali näyttää hyvin tasalaatuiselta materiaalilta heti jyrsinnän jälkeen. Isoja kiviä ja asfalttikokkareita on hankala huomata sekoitusjyrsitystä kerroksesta, koska kappaleet ovat hienomman kiviaineksen peitossa. Materiaalin lajittumista havaittiin työmaalla vähän. Kuvassa 54 on lajittunut kohta, jossa sekoitusjyrsityn alueen vasemmalle reunalle lajittui kivisempää materiaalia. Kohta muotoiltiin vielä tiehöylällä, mikä sekoittaa vielä vähän kantavan kerroksen yläpintaa.



Kuva 54. Lajittunut kohtasekoitusjyrsinnässä ja yli 50 mm asfalttikokkare.

Ohjeissa esitettyä 50 mm raja-arvoa suurimmalle sallitulle jyrsitylle rouhekappaleelle ei pystytty käytännössä noudattamaan työmaalla. Jokaisella Uudenmaan ELY -keskuksen työmaalla tuli jyrsinnöissä suurempia kokkareita kuin mitä ohje sallii. Suuria asfalttikokkareita syntyy, kun päällyste on kovaa esimerkiksi vanha AB-päällyste, paikkausten kohdalla sekä verkkohalkeamakohtissa, joissa päällyste on jo valmiiksi pilkkoutunut tietyn kokoisiksi kappaleiksi. Jos asfaltti ei rikkoudu, se joudutaan jyrsimään uudelleen.

5.9 Yleisiä huomioita sekoitusjyrsinnän tutkimisesta

Näytteenotto

Vanhoista sekoitusjyrsintäkohteista on hankalaa ottaa näytteitä rakeisuuden määrittämistä varten. Poraamalla otettava näyte lisää hienoainespitoisuutta ja näytteiden koko jää pieneksi. Jos halutaan saada edustava näyte kantavasta kerroksesta, tulisi näytteitä porata neljä yhtä rakeisuutta varten.

Toinen menetelmä näytteidenotolle on koekuopan kaivaminen. Menetelmän ongelmana on isompien asfalttirouhekappaleiden rikkoutuminen, koska asfalttirouhe rikkoutuu helposti. Lisäksi menetelmä on hidas.

Koostumuksen määrittäminen

Tutkimuksessa näytteet kuivattiin ensin uunissa 45 C° lämpötilassa ennen pesuseulontaa. Kuivauksen jälkeen asfalttikokkareet olivat pehmeitä, joten näytteen tulisi antaa jäähtyä huoneenlämmössä ennen seulontaa.

Tutkimuksessa sideainepitoisuus määritettiin pesuseulotuista näytteistä. Pesuseulonnassa vesi oli tavallista tummempaa, joten osa sideaineesta huuhtoutui pois. Sideaineen määrittämistä varten tulisi kantavasta kerroksesta ottaa erillinen näyte.

Näytteenoton ajankohta

Sekoitusjyrsinnän etenemistä on hankala arvioida etukäteen. Sekoitusjyrsinnässä lisämurskeen levittäminen on mitoittava tekijä jyrsinnän kestossa. Työmailla sekoitusjyrsimet joutuvat odottamaan pitkiä aikoja murskeen levittämistä.

Sekoitusjyrsimiä joudutaan huoltamaan usein. Teräshampaat kuluvat nopeasti ja niiden vaihtaminen on työlästä. Kivikkoisessa maassa terät kuluvat nopeammin.

Todellinen jyrsintäsyvyys

Työmailla huomattiin todellisen jyrsintäsyvyyden vaihtelevan suunnitelluista jyrsintäsyvyyksistä. Kohdissa, joissa kantava kerros oli kivisempää, käytettiin pienempää jyrsintäsyvyyttä. Jyrsintäsyvyyttä vaihdeltiin myös lisämurskekerrosten paksuuksien mukaan.

Lisämurskeen levittämisestä nähtiin työmailla monia erilaisia menetelmiä. Lisämursketta levitettiin pyöräkuormaimeen kiinnitetyn levittimen avulla sekä tiehöylän avulla. Levittimellä lisätty lisämurskekerros sopi kohteisiin paremmin ja levitetty lisämurskekerros oli tasaisempi.

5.10 Virhetarkastelu

Vaurioinventointi on subjektiivinen menetelmä ja se riippuu paljon arviointitilanteen olosuhteista. Vaurioiden vakavuutta on hankalaa arvioida silmämääräisesti. Erilaisissa olosuhteissa (kosteus, valaistus) eri vauriot tulevat näkyviin eri tavoin. Vaurioinventoin-

tien luotettavuus ja toistettavuus on selvästi huonompi kuin tien muiden kuntomuuttujien. PTM- mittauksissa määritetty urasyvyyden keskiarvon on 0,2-0,4 mm tarkkuudella oikea tulos. IRI -mittauksissa mittaustulos on 0,08- 0,09 mm/m tarkkuudella oikea tulos. (Tiehallinto 2004d.)

Pudotuspainolaitemittauksissa saatuun kantavuuteen vaikuttaa paljon mittauksen aikana vallinnut lämpötila, mikä vaikuttaa päällysteen jäykkyyteen. Keväällä roudan sulettua tien kantavuus on pienin. Lämpötilan vaikutus kantavuuteen on otettu huomioon tuloksissa. Molemmille tutkituille kohteille tehtiin myös muita toimenpiteitä kuin sekoitusjyrsintä, mutta niiden osuutta kantavuuden paranemiseen ei pystytty erottelemaan. Kohteissa oli osuuksia, joissa oli massanvaihtoja ja teräsverkkoja. Lisäksi molemmissa kohteissa tien kuivatus kunnostettiin.

Vanhoista sekoitusjyrsintäkohteista on hankalaa ottaa maanäytteitä rikkomatta asfalttikokkareita. Näytteiden koko oli vanhoissa kohteissa liian pieni. Jos sekoitusjyrsitystä kantavasta kerroksesta halutaan edustava näyte rakeisuudesta, tulisi poraamalla otettavia näytteitä ottaa useampi rinnakkain.

Los Angeles -koe ei välttämättä anna oikeaa kuvaan materiaalin lujuudesta. Kokeessa käytettävän raekoon 10-14 mm asfalttirouheet ovat bitumipäällysteisiä kiviä. Päällysteen kiviaines on kovempaa kuin kantavan kerroksen kiviaines, jolloin asfalttirouhepitoisuuden kasvaminen lisää kantavan kerroksen materiaalin lujuutta. Isommat asfalttikokkareet puolestaan murenevat helposti.

Imupainekokeessa käytetyn Percometer -laitteen anturin arvoon vaikutti paljon kosketusvoiman suuruus mittauksessa. Mittauksissa yritettiin pitää kosketusvoima yhtä suurena kuin laitteen kalibroinnissa.

Jäykkyyssmoduulia arvioitiin takaisinlaskennan ja pintamoduulien avulla. Takaisinlaskennassa päällysteen jäykkyydeksi saatiin epärealistisen suuria arvoja, minkä vuoksi päällysteelle, jakavalle kerrokselle ja pohjamaan jäykkyyssmoduuleille määritettiin vakioarvo. Takaisinlaskennan epäluotettavuuden vuoksi sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyyttä arvioitiin myös pintamoduulien avulla.

Sideainepitoisuus määritettiin pesuseulotuista näytteistä. Osa bitumista on saattanut liueta pesuseulonnan aikana, koska pesuseulasta poistunut vesi oli tummempaa kuin pelkästään kiviaineksesta koostuvien pesuseulottujen näytteiden vesi.

6 Yhteenveto, päätelmät ja suositukset

6.1 Sekoitusjyrsintä

Tässä tutkimuksessa tutkittiin vanhojen sekoitusjyrsintöjen kuntoa ja vaurioitumista. Kymmenen vanhan sekoitusjyrsintäkohteen vaurioituminen määritettiin vaurioinventoinnin avulla. Tulokseksi saatiin kohteiden vauriosummat ja vaurioitumisnopeus. Lisäksi kohteista selvitettiin pituussuuntainen tasaisuus, urasyvyys ja harjanteen korkeus kuntorekisteristä. Kolmesta kohteesta otettiin maanäytteitä vaurioita aiheuttaneiden syiden selvittämiseksi. Maanäytteistä tutkittiin hienoaaines-, vesi- ja sideainepitoisuus.

Tutkimuksen tarkoituksena oli myös selvittää sekoitusjyrsityn materiaalin ominaisuuksia ja soveltumista kantavan kerroksen materiaaliksi. Työssä tutkittiin kolmea Uudenmaan ELY -keskuksen kesän 2012 sekoitusjyrsintäkohdetta tarkemmin:

- Mt 2846 Lautaporras - Sillantaka, Hämeenlinna
- Mt 11491 Uusikartano - Palopuro, Hyvinkää
- Mt 11363 Pakankylä - Röylä, Espoo

Sekoitusjyrsinnän vaikutuksia kantavan kerroksen rakeisuuteen tutkittiin kaikissa kolmessa kohteessa. Kohteissa käytettiin kolmea eri lisämursketta KaM 0/32, KaM 0/56 ja KaM 8/32. Kohteista otettiin rakeisuusnäytteet ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen.

Kohteista otettiin myös näytteitä imupaine- ja Los Angeles -kokeita varten. Imupainekokeilla tutkittiin sekoitusjyrsityn materiaalin vedenimeytymiskyky. Kokeita tehtiin yhteensä 12 eri näytteelle. Los Angeles -kokeella tutkittiin sekoitusjyrsityn materiaalin lujuusominaisuuksia.

Sekoitusjyrsinnän vaikutuksia tien kantavuuteen tutkittiin Hämeenlinnan ja Hyvinkään kohteissa pudotuspainolaitemittausten avulla. Pudotuspainolaitemittaukset tehtiin ennen sekoitusjyrsintää ja sekoitusjyrsinnän jälkeen.

Sekoitusjyrsityn kerroksen paksuutta ja suunnitellun sekoitusjyrsintäsyvyyden toteutumista tutkittiin maatulokaluotausten avulla. Maatulokaluotaukset tehtiin samoihin kohteisiin kuin pudotuspainolaitemittauksetkin. Maatulokaluotauksen perusteella saadut rakennekerrosten paksuudet tarkastettiin vielä referenssikairausten avulla.

Sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyysmoduulia arvioitiin takaisinlaskennan, pintamoduulien ja rakeisuuksien perusteella. Takaisinlaskennassa käytettiin pudotuspainolaitemittauksissa saatuja taipumasuppiloita ja maatulokaluotauksissa saatuja rakennekerrosten paksuuksia.

6.2 Menetelmän soveltuminen rakenteen parantamistoimenpiteeksi

Sekoitusjyrsintä soveltuu kevyeksi rakenteenparantamismenetelmäksi hyvin kohteisiin, joissa liikennemäärä on alhainen alle 1500 ajon/vrk ja raskaan liikenteen aiheuttama kuormitus on vähäistä. Tutkimuksessa todettiin tarkastelussa mukana olleiden kohteiden vaurioitumisen olevan vähäistä. Yksikään 8-9 vuotta vanhoista tutkimuksessa mukana olleista kohteista ei ollut vielä vaurioitunut niin paljon, että se pitäisi kokonaan korjata. Yksittäisiä paikattavia kohtia kuitenkin löytyi.

Tutkimuksessa todettiin sekoitusjyrsintöjen vaurioituvan hitaasti. Kohteissa esiintyy yksittäisiä heikkoja kohtia, joissa vaurioituminen on nopeaa. Vanhojen kohteiden yksittäiset vauriot aiheutuivat tien heikosta kuivatuksesta ja kantavan kerroksen liian suuresta hienoainespitoisuudesta. Hienoainespitoisuuden on tutkittu lisäävän tien vaurioitumista, kun kantavan kerroksen hienoainespitoisuus on yli 6,0 %. Yleisimmät vauriot sekoitusjyrsinnöissä ovat leveät pituushalkeamat ja verkkohalkeamat. Myös reunapainumat ovat yleisiä.

Sekoitusjyrsinnän ohella tulisi myös tien kuivatus kunnostaa. Kohtiin, joissa vaurioituminen nopeaa, tulisi parantamismenetelmäksi valita esimerkiksi massanvaihto tai teräsverkkojen asentaminen.

6.3 Suunnittelussa huomioon otettavat asiat

Kantavan kerroksen rakeisuus

Tutkimuksessa mukana olleiden kohteiden kantavien kerroksien rakeisuudet ennen sekoitusjyrsintää voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan:

- Hyvä kantava kerros (raja-arvojen mukainen rakeisuus)
- Rakentamaton tie (kantava kerros ei ole ohjearvojen mukainen, routiva yms.)
- Bituminen kantava kerros (kantavassa kerroksessa on jo valmiiksi bitumia, esimerkiksi vanha stabilointi)

Sekoitusjyrsinnän suunnittelussa tulisi vanhan kantavan kerroksen rakeisuus selvittää, jotta osataan valita kohteeseen sopiva lisämurskeen rakeisuus. Sekoitusjyrsityn kerroksen rakeisuus koostuu kolmesta eri tekijästä: vanhasta kantavan rakeisuudesta, lisämurskeen rakeisuudesta ja asfalttirouheen rakeisuudesta. Asfalttirouhe vaikeuttaa sekoitusjyrsityn kerroksen rakeisuuden mitoittamista, koska rouheen rakeisuutta on vaikeaa arvioida. Asfalttirouhe sisältää vähän hienoainesta ja enemmän 2-16 mm raekokoja. Lisäksi sekoitusjyrsinnästä syntyy isoja asfalttikokkareita, mitkä aiheuttavat epähomogeenisen kantavan kerroksen.

Vanhan kantavan kerroksen hienoainespitoisuuden perusteella tulee valita käytettävän lisämurskeen hienoainespitoisuus. Jos vanhassa kantavassa kerroksessa on paljon hie-

noainesta, kohteeseen tulisi valita lisämurske, josta puuttuvat hienoimmat raekoot. Vähän hienoaainesta sisältävä lisämurske vaikeuttaa työmaan liikennettä. Henkilöautoilla on ongelmia lisämurskekerroksen päällä ajamisessa, minkä vuoksi lisämursketta ei voida levittää pitkiä matkoja ennen sekoitusjyrsintää. Lisämurskeen levittämisen eteneminen on sekoitusjyrsintätyömailla yleensä mitoittava tekijä työn etenemisen kannalta.

Lisämurskeen maksimiraekokoa valittaessa tulisi myös ottaa huomioon vanhan kantavan kerroksen maksimiraekoko. Jos kohteeseen valitaan lisämurske, jonka maksimiraekoko on suurempi kuin vanhan kantavan kerroksen, on hankalaa saada uusi rakeisuuskäyrä kulkemaan karkeamman materiaalin raja-arvojen mukaisesti. Sama huomattiin Hämeenlinnan kohteessa, jossa vanhan kantavan kerroksen rakeisuus oli 0/32 ja lisämurskeena käytettiin 0/56 -mursketta. Uusi kantava kerros täytti parhaiten murskeen 0/45 raja-arvot. Karkeampia lisämurskelajitteita 0/45 ja 0/56 tulisi käyttää kohteissa, joissa halutaan parantaa tien kantavuutta.

Jyrsintäsyvyys

Kantavan kerroksen rakeisuuteen vaikuttaa eri materiaalien rakeisuuksien lisäksi myös eri lajitteiden osuus sekoitusjyrsitystä kerroksesta. Eri lajitteiden pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa ainoastaan jyrsintäsyvyydellä ja lisämurskekerroksen paksuudella. Jyrsintäsyvyydellä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka suurina eri materiaalien osuudet ovat sekoitusjyrsityssä kerroksessa. Myös lisämurskekerroksen paksuudella vaikutetaan sekoitusjyrsityn kerroksen rakeisuuteen.

Suunniteltu sekoitusjyrsintäsyvyys ei ole sama asia kuin työmaalla toteutunut sekoitusjyrsityn kerroksen paksuus. Lisämurske tiivistyy kunnolla vasta sekoitusjyrsinnän jälkeen tehtävässä tiivistämisessä, jolloin sekoitusjyrsitystä kerroksesta tulee ohuempi kuin jyrsintäsyvyydestä. Teoriassa sekoitusjyrsityn kerroksen pitäisi olla noin 8-20 mm ohuempi kuin suunnitellun jyrsintäsyvyyden.

Tutkimuksessa huomattiin toteutuneen jyrsintäsyvyyden vaihtelevan työmaalla paljon suunnitellusta jyrsintäsyvyydestä. Sekoitusjyrsityn kerroksen paksuus erosi noin ± 50 mm suunnitellusta sekoitusjyrsintäsyvyydestä. Jyrsintäsyvyyttä vaihdeltiin työmailla olosuhteiden vaihtuessa. Lisäksi käytettyyn jyrsintäsyvyyteen vaikuttivat myös lisämurskekerroksen paksuudessa olleet erot.

Sekoitusjyrsintäsyvyyden tulisi ulottua vähintään 50 mm vanhaan kantavaan kerrokseen, jotta voidaan olla varmoja päällysteen rikkoutumisesta koko tieosuudella. Rakenteeseen ei saa jäädä vedenpitäviä kerroksia sitomattomien kerrosten alapuolelle.

Syviä sekoitusjyrsintäsyvyksiä 300 -400 mm tulisi käyttää ainoastaan kohteissa, joissa päällysteen paksuus on suuri tai sitomattoman kerroksen alapuolella on sidottu kerros joka halutaan rikkoa.

Lisämurske

Lisämurskekerroksen paksuuden havaittiin työssä vaikuttavan tien kantavuuden paranemiseen. Tien kantavuus ei lisääntynyt lisämurskeen 50 mm kerrospaksuuksilla. Kantavuuden paraneminen edellytti lisämurskeen 100 mm kerrospaksuutta.

Lisämurske voidaan levittää joko ennen sekoitusjyrsintää tai sekoitusjyrsinnän jälkeen omana kerroksenaan. Työssä ei havaittu suuria eroja sekoitusjyrsityn kerroksen rakeisuuksissa lisämurskeen eri levittämisvaiheiden välillä. Lisämurskeen levittäminen ennen sekoitusjyrsintää on yleisemmin käytetty menetelmä ja sitä tulisi käyttää.

Lisämurskeen levittämistä omana kerroksenaan tulisi välttää kohteissa, joissa:

- Vanha kantava kerros sisältää valmiiksi bitumia (vanha stabilointi), koska kantavan kerroksen rouhepitoisuus saattaa kasvaa liian suureksi.
- Lisämurskeena käytetään lajitetta, josta hienoimmat kiviainekset on seulottu pois. Rakennekerros ei kestä työmaan liikenteen aiheuttamaa kuormitusta.

Lisäksi jos lisämurske levitetään omana kerroksenaan sekoitusjyrsityn kerroksen päälle, tulisi sen paksuuden olla vähintään kaksinkertainen käytetyn lisämurskeen maksiraekoon verrattuna.

Sekoitusjyrsinnän suunnittelussa pitäisi määrittää, missä vaiheessa lisämurske levitetään. Tällä hetkellä suunnitelmissa on harvoin määritetty, missä vaiheessa lisämurske levitetään, joten urakoitsija pystyy tarvittaessa vaihtelevaan samalla työmaalla lisämurskeen levitystapaa. Kyseinen ilmiö huomattiin työmaalla, kun lisämurskeen levittämisessä oli ongelmia. Kohteeseen tuli osuuksia, joissa päätettiin jyrsiä ensin ja lisätä lisämurske myöhemmin.

Sekoitusjyrsinnässä on myös yleistä, että lisämursketta ei voida lisätä yhtä paljon kuin suunnitelmissa on määritetty. Syynä voi olla esimerkiksi tiealueen kapeus, jolloin lisämursketta ei mahdu suunniteltua määrää. Tasausviivan noustessa tie myös levenee, jos luiskakaltevuus pidetään samana.

Vanhan asfalttipäällysteen paksuus ja asfalttirouhe

Sekoitusjyrsintää käytetään yleensä vähäliikenteisillä teillä, joilla vanhan asfalttipäällystekerroksen paksuus on ohut (40-50 mm). Sekoitusjyrsintä soveltuu huonosti kohtiin, joissa päällysteen paksuus on suuri ja tien kantavuus perustuu paksuun päällystekerrokseen. Asfalttipäällysteen ollessa 70 mm sekoitusjyrsintä saattaa laskea tien kantavuutta. Sekoitusjyrsinnän laskennalliset vaikutukset tien kantavuuteen on esitetty liitteestä K.

Asfalttirouhepitoisuus on sekoitusjyrsityssä kerroksessa yleensä pieni, koska sekoitusjyrsintää käytetään kohteissa, joissa vanhan päällysteen paksuus on ohut n. 40 mm. Tutkimukseen valituissa kohteissa oli vanha kantava kerros usein bituminen jo ennen sekoitusjyrsintää. Kohteissa oli ilmeisesti vanhoja stabilointeja, joita ei ollut merkitty kunto-

rekisteriin. Näissä kohteissa oli asfalttirouhepitoisuus huomattavasti suurempi kuin tavallisissa sekoitusjyrsintäkohteissa.

Bitumisten sekoitusjyrsintöjen rakeisuus oli melko hyvä ja hienoaainespitoisuus oli pieni. Imupainekokeissa vedenimeytyminen oli vähäisempää kuin tavallisen sekoitusjyrsityn materiaalin. Yhdysvalloissa tehdyissä tutkimuksissa asfalttirouhepitoisuuden kasvamisen on todettu lisäävän materiaalin jäykkyysmoduulia, mutta toisaalta taas laskevan materiaalin leikkauslujuutta. Leikkauslujuuden pienenemisen takia Yhdysvalloissa on useassa osavaltiossa asetettu kantavan kerroksen rouhepitoisuuden maksimiksi 50 %.

Ensimmäiset Suomessa tehdyt stabilointikohteet alkavat olla rakenteen parantamistoinnituksen tarpeessa ja tulevaisuudessa sekoitusjyrsintää tehdään paljon stabiloituihin kohteisiin.

Sekoitusjyrsinnässä syntyvää asfalttirouheen rakeisuutta ja maksimiraekokoa on mahdollonta arvioida täysin luotettavasti. Tällä hetkellä sekoitusjyrsinnässä syntyy paljon yli 50 mm suurempia asfalttikokkareita. Yli 50 mm suurilla asfalttikokkareille tulisi asettaa raja-arvo, minkä noudattaminen työmailla olisi mahdollista. Raja-arvo voisi olla suuruudeltaan 1-5 prosentin väliltä.

Kantavuuden paraneminen

Sekoitusjyrsintä parantaa tien kantavuutta. Kantavuuden paraneminen perustuu lähinnä lisämurskeen ja sekoitusjyrsinnän aiheuttamaan rakennekerrospaksuuksien kasvamiseen sekä rikkoutuneen päällysteen korjautumiseen uudella päällysteellä. Yhdysvalloissa saatujen tutkimustulosten perusteella sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyysmoduuli on suurempi kuin tavallisen kantavan kerroksen materiaalin. Tässä tutkimuksessa tehdyissä takaisinlaskennoissa ja pintamoduulien määrittämisissä ei huomattu sekoitusjyrsityn materiaalin olevan tavallista mursketta järempää. Sekoitusjyrsityn materiaalin jäykkyysmoduuli oli pintamoduulien perusteella alle 200 MPa, mikä on vähemmän kuin kantavan kerroksen murskeella yleensä. Huonojen jäykkyysmoduulien syynä ovat 32 -45 mm kivrakeiden alhaiset määrät rakeisuuksissa.

Kantavuuden paraneminen edellyttää 100 mm lisämurskekerroksen käyttämistä. Tutkimuksessa ei todettu 50 mm lisämurskekerroksen parantavan kantavuutta. Karkeammalla lisämurskelajitteella (0/45 tai 0/56) saavutetaan suuremmat kantavuudet kuin 0/32 -lajitteella.

6.4 Materiaaliominaisuudet

Tutkimuksessa ei tullut esille asioita, mitkä estäisivät sekoitusjyrsityn materiaalin käyttämisen kantavassa kerroksessa. Tutkimuksen perusteella sekoitusjyrsitty materiaali on riittävän lujaa kantavan kerroksen materiaaliksi. Los Angeles -kokeen tulokset olivat hyviä. Los Angeles -menetelmä ei kuitenkaan välttämättä sovellu sekoitusjyrsitylle materiaalille. Yhdysvalloissa tehdyissä Micro Deval- kokeissa tulokset olivat päinvastaisia Los Angeles -kokeen tuloksiin nähden.

Imupainekokeiden tuloksien perusteella sekoitusjyrsityn materiaalin vedenimeytymiskyky vaihtelee paljon eri kohteissa. Suurin osa tuloksista oli hyviä. Materiaalin korkea hienoainespitoisuus lisää vedenimeytymistä. Kokeessa ei määritetty näytteiden asfalttirouhe- tai bitumipitoisuuksia, mutta silmämääräisesti tarkastelemalla paljon bitumia sisältäneet näytteet imivät heikommin vettä kuin vähemmän bitumia sisältäneet.

Taulukossa 51 on yhteenveto asfalttirouhepitoisuuden kasvamisen vaikutuksista kantavan kerroksen materiaaliominaisuuksiin. Tuloksissa on eritelty kirjallisuusselvityksessä esille tulleet tulokset sekä työssä tutkitut ominaisuudet.

Taulukko 51. Yhteenveto asfalttirouhepitoisuuden kasvamisen vaikutuksista kantavan kerroksen ominaisuuksiin.

Ominaisuus	Kirjallisuusselvitys	Kesän 2012 tutkimus
Lujuus	Kuluminen lisääntyy	Kuluminen ei lisäännä
Vesipitoisuus	Optimivesipitoisuus pienenee	-
Kiintotiheys	Pienenee	-
Vedenläpäisevyys	Ristiriitaisia tuloksia	-
Vedenimeytyminen	-	Vähentää vedenimeytymistä
Jäykkyysmoduuli	Kasvaa	Ei vaikuta merkittävästi
Pysyvät muodonmuutokset	Syntyy enemmän	-
Jäädytys-sulamiskestävyys	Ei vaikutusta	-

Hienoainespitoisuus

Tutkimuksessa huomattiin hienoainespitoisuuden vaikuttavan merkittävästi sekoitusjyrsinnän ominaisuuksiin, vaikka hienoainespitoisuus oli pienempi kuin raja-arvona käytetty 7,0 %. Vanhoissa kohteissa vaurioiden syynä oli usein suuri hienoainespitoisuus. Imupainekokeissa vettä imeytyi paljon näytteillä, joiden hienoainespitoisuus oli suuri. Sekoitusjyrsinnän suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon kantavan kerroksen hienoainespitoisuus ja valita lisämurske sen mukaan. Kantavalle kerrokselle määritetty hienoainespitoisuuden raja-arvo 7,0 % saattaa olla sekoitusjyrsitylle materiaalille liian suuri.

Laadunvalvonta

Sekoitusjyrsitystä materiaalista tutkitaan nykyisin rakeisuus ja sideainepitoisuus. Lisäksi sekoitusjyrsitystä kerroksesta määritetään yleensä sivukaltevuus ja tiiveys Troxler-laitteella. Työssä huomattiin maatumaluuauksen soveltuvan hyvin sekoitusjyrsityn kerroksen paksuuden määrittämiseen.

6.5 Erot muihin rakenteen parantamismenetelmiin

Sekoitusjyrsintä on hyvä vaihtoehto kevyeksi rakenteen parantamismenetelmäksi. Sekoitusjyrsintä on rakentamiskustannuksiltaan huokeampi menetelmä kuin stabiloinnit. Vaahtobitumistabilointi maksaa keskimäärin 34 % enemmän kuin yhtä syvä sekoitus-

jiysittykerros. Liitteessä J on esitetty keskimääräiset rakenteen parantamistoimenpiteiden kustannukset.

Stabiloinnit parantavat tien kantavuutta keskimäärin 50 MPa (kuva 35) ja sekoitusjiysintä parantaa kantavuutta 20 MPa vähemmän, keskimäärin 30 MPa. Sekoitusjiysintä sopii hyvin kohteisiin, joissa tien tavoitekantavuus on 145 MPa. Sekoitusjiysintä myös vaurioituu helpommin, mutta ero stabilointeihin ei ole suuri.

Sekoitusjiysintää ei kuitenkaan kannata käyttää kohteissa, joissa liikenteen aiheuttama kuormitus on suurta. Nopeasti vaurioituviin kohtiin kannattaa käyttää jotain muuta rakenteen parantamismenetelmää kuten massanvaihtoja tai teräsverkkoja.

6.6 Jatkotutkimustarve

Kestoikä

Uudenmaan ELY -keskuksen kesän 2012 SJYR -kohteet vaurioinventoitiin ja kohteiden vauriosummat ovat liitteessä B. Vaurioinventoinnin tarkoituksena oli luoda edellytykset sekoitusjiysittyjen kohteiden kestoiän ja kunnon pidempiaikaiselle seuraamiselle. Kohteiden seuraava vaurioinventointi tulisi tehdä aikaisintaan neljän vuoden päästä vuonna 2016. Erityisesti työssä tarkemmin tutkitut kohteet MT 2846 Lautaporras - Sillantaka, Mt 11491 Uusikartano - Palopuro ja Mt 11363 Pakankylä - Röylä tulisi tutkia tarkemmin. Myös tutkimuksessa mukana olleet vanhat kohteet voi vaurioinventoida uudelleen. Kohteessa Mt 3061 Lepaa sekoitusjiysittiin vanhaa stabilointia, minkä kuntoa kannattaa myös erityisesti seurata.

Kantavuus

Kohteille Mt 2846 ja Mt 11491 tehtiin pudotuspainolaitemittaukset ennen sekoitusjiysintää ja sen jälkeen. Kohteessa Mt 2846 kantavuus parani keskimäärin 40 MPa, kun taas kohteessa Mt 11491 keskimääräinen kantavuus laski 1 MPa. Jälkimmäiselle kohteelle tehtiin pudotuspainolaitemittaus ehkä liian aikaisin sekoitusjiysinnän jälkeen, jolloin päällyste ei ollut ehtinyt vielä saavuttaa lopullista jäykkyyttään. Kesällä 2013 tulisi tehdä uudet pudotuspainolaitemittaukset, jotta nähdään, onko kantavuus parantanut kun kohteet ovat vuoden vanhoja.

Jäykkyys

Yhdysvalloissa tehdyt tutkimukset ovat antaneet sekoitusjiysitylle materiaalille korkeita jäykkyysmoduulituloksia. Materiaalin jäykkyysmoduulia voisi tutkia kolmiaksaalikoiteiden avulla, jotta saataisiin varmasti selville, onko materiaali jäykempää kuin normaali kantavan kerroksen materiaali. Kokeita voisi tehdä eri asfalttirouhepitoisuuksilla ja samoille näytteille voisi määrittää myös leikkauslujuuden.

Sekoitusjyrsinnän tiivistettävyyys

Tutkimuksessa oli alun perin tarkoituksena tarkastella myös sekoitusjyrsittyjen kerrosten tiivistymistä. Materiaalin tiivistymistä kannattaisi tutkia sekoitusjyrsityn kerroksen eri syvyyksillä, erityisesti yli 300 mm jyrsintäsyvyyksillä.

Asfalttirouheen käyttäminen lisämurskeena

Urakoitsijat haluaisivat käyttää päällysteen jyrsimisestä syntyvää asfalttirouhetta kantavassa kerroksessa. Yhdysvalloissa sekoitusjyrsinnässä käytetään lisämurskeena asfalttirouhetta ja asfalttimursketta. Yhdysvalloissa on yleisesti käytössä kantavan kerroksen asfalttirouhepitoisuudelle 50 % raja-arvo. Suomessa tien ulkopuolelta tuotavan asfalttirouheen käyttämisen rakennekerrosten materiaalina estää asfalttirouheen luokittelu jätteeksi.

6.7 Suositukset

Sekoitusjyrsinnän suunnittelussa tulisi selvittää vanhan kantavan kerroksen rakeisuus, minkä perusteella tulisi kohteeseen valita sopiva lisämurskeen rakeisuus sekä jyrsintäsyvyys ja lisämurskekerroksen paksuus.

Sekoitusjyrsintöjen vaurioitumista voidaan vähentää kantavan kerroksen hienoainespitoisuuden ja vesipitoisuuden vähentämisellä. Sekoitusjyrsinnän lisäksi tien kuivatus pitää kunnostaa.

Jyrsintäsyvyyden pitäisi ulottua vähintään 50 mm vanhaan kantavaan kerrokseen, jotta voidaan olla varmoja päällysteen rikkoutumisesta koko sekoitusjyrsinnän matkalta. Yli 300 mm jyrsintäsyvyyksiä tulisi käyttää ainoastaan kohteissa, joissa päällysteen paksuus on suuri tai sitomattoman kerroksen alla on sidottu kerros, joka halutaan sekoitusjyrsinnällä rikkoa.

Jos sekoitusjyrsintää käytetään kantavuudeltaan heikoissa kohdissa, tulisi lisämurskekerroksen olla vähintään 100 mm paksu. Lisämurskeen maksimiraekoon olisi hyvä olla vähintään 45 mm. Jos lisämurskeena käytetään 0/32 -mursketta, materiaalin jäykkyysmoduulina tulisi käyttää korkeintaan 200 MPa. Sekoitusjyrsinnän suunnitelmassa pitäisi ilmoittaa, missä vaiheessa lisämurske lisätään.

Sekoitusjyrsinnän laadunvarmistus voidaan toteuttaa rakeisuusnäytteiden perusteella. Lisäksi ennen päällystämistä olisi hyvä tarkistaa sekoitusjyrsinnän tiiveys ja sivukaltevuudet. Maatutkaus soveltuu hyvin sekoitusjyrsityn kerroksen paksuuden määrittämiseen. Sekoitusjyrsityn kerroksen paksuus on noin 8-20 mm ohuempi kuin suunniteltu jyrsintäsyvyys.

Sekoitusjyrsintämenetelmälle ominaista ovat suuret asfalttikokkareet, jotka eivät ole jyrsinnässä rikkoutuneet tarpeeksi pieniksi. Suuria asfalttikokkareita syntyy jokaisella työmaalla, minkä vuoksi niitä ei voida täysin kieltää. Sekoitusjyrsitylle materiaalille

tulisi määrittää raja-arvo, kuinka suuri osuus materiaalin rakeisuudesta saa olla yli 50 mm asfalttikokkareita. Raja-arvo voisi olla esimerkiksi 1-5 % väliltä.

Kantavan kerroksen asfalttirouhepitoisuudelle tai bitumipitoisuudelle pitäisi asettaa raja-arvo. Yhdysvalloissa on useissa osavaltiossa käytössä 50 % raja-arvoja asfalttirouhepitoisuudelle, koska asfalttirouhepitoisuuden kasvaessa materiaalin leikkauslujuus pienenee. Tulevaisuudessa sekoitusjyrsintää tullaan käyttämään vanhojen stabiloitujen teiden kunnostamiseen, jolloin kantavan kerroksen rouhepitoisuus olisi hyvä tarkastaa.

Lähdeluettelo

- ANDAMENT OY, 2006. Sekoitusjyrsintä (SJYR) [power point-diaesitys]
- ANDERSSON, P. 2004. Handbok för återvinning av asfalt. Vägverket. Borlänge. Publikation 91/2004. 184 s. ISSN 1401-9612
- ARRA, 2001. Basic Asphalt Recycling Manual. Asphalt Recycling and Reclaiming Association. U.S. Department of Transportation. 270 s.
- COOLEY, D. 2005. Effects of Reclaimed Asphalt Pavement on Mechanical Properties of Base Materials. Department of Civil and Environmental Engineering Brigham Young University. Transportation Research Board of the National Academies. 52 s. ISSN 0361-1981
- DOYLE, J. 2012. Prediction of Absorbed, Inert, Effective Bituminous Quantities in Reclaimed Asphalt Pavement. American Society of Civil Engineers. ISSN 0899-1561
- EASTS 2005. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 5. The Influence of Fines Content and Plasticity on the Strength and Permeability of Aggregate for Base course Material. Siswosoebrotho B. Bangkok. ISSN 1881-1132
- EHROLA, E. 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Rakennustieto Oy. Helsinki. ISBN 951-682-338-6
- HAVERI, O. 2005. Elinkaaritarkastelut tiepäälysteiden ylläpidon ohjelmoinnissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto. Tampere. 87 s.
- INFRARYL 2010. InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1: Väylät ja alueet. Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy. 557 s. ISBN 978-951-682-958-9
- KIM, W., LABUZ, J. 2007. Resilient Modulus and Strength of Base Course with Recycled Bituminous Material. Final report. Minnesota Department of Transportation. Minnesota. Saatavissa: <http://www.mrr.dot.state.mn.us/research/pdf/200705.pdf>
- KUNTOREKISTERI 2012. Liikennevirasto.
- KUOSMANEN, A. 2011. Toimenpiderajojen tarkastelu vilkasliikenteisten teiden uudelleen päällystyksessä. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- LIIKENNEVIRASTO 2011a. Tietilasto 2010. Liikenneviraston tilasto 6/2011. Helsinki. Edita Prima Oy. ISBN 978-952-255-699-8. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2011-06_tietilasto_2010_web.pdf
- LIIKENNEVIRASTO 2011b. Urakkakohtaiset tuotevaatimukset.

MAIREPAV5 WORKSHOP II 2007. Fundamentals of Asphalt Pavement Recycling, Portland Cement association market research report 2003. [PDF-tiedosto] <<http://www.skytrust.net/Final/Workshops/Fundamentals%20of%20Recycling-MAIREPAV5-Arlis%20Kadmas%202007.pdf>>

MCCARRAH, E. 2007. Evaluation Of Current Practices Of Reclaimed Asphalt Pavement/ Virgin Aggregate As Base Course Material. Washington State Department of Transportation. WSDOT Research Report. 33 s. Saatavissa: <http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/713.1.pdf>

MOHAMED, A. 2009. Investigation of Stripping in Minnesota Class 7 (RAP) and Full-Depth Reclamation Base Materials. Minnesota Department of Transportation. Saatavissa: <http://www.lrrb.org/pdf/200905.pdf>

NIELSEN, N. 2007. Quality Base Material Produced Using Full Depth Reclamation on Existing Asphalt Pavement Structure. South Dakota Department of Transportation. s. 72. Saatavissa: <http://fdr.sdsmt.edu/images/Task%202%20Quality%20Base%20Material%20Produced%20Using%20FDR%20-%20State%20Spec.pdf>

NORDISKT VÄGFORUM 2011. Recycling Återvinning Genbruk. Utskott beläggningar, NVF 33. Huvudämne 2011. Finska utskottet.

OULUN YLIOPISTO 2009. Tierakenteen toiminta, vauriomekanismit ja rakenteen parantamisen perusteet. [PDF-tiedosto] <<http://www.oamk.fi/~turunen/Vauriomekanismit.pdf>>

PANK 2004. PANK 5207. Pituussuuntainen tasaisuus IRI ja IRI, PTM- auto. Päällystealan neuvottelukunta ry. Saatavissa: http://www.pank.fi/files/274_PANK5207.pdf

PANK 2009. PANK 9002 Imupaine (Tube Suction test). Päällystealan neuvottelukunta ry.

RC-INFRA 2012. Maatutkaluotaukset, tulkinnot. [www-dokumentti] <<http://www.rcinfra.fi/tulkinnat.html>>

ROADDEX II 2002- 2005. 6. Pysyvien muodonmuutosten hallinta. [www-dokumentti] <<http://www.roadex.org/index.php/e-learning/pysyva-muodonmuutos6#6.4.3>>

ROAD MASTERS OY 2012. Kantavuusmittauspalvelu yksityisteille. Saatavissa: http://www.roadmasters.fi/images/RoadMasters_esite3.pdf

SAARENKETO, T. 2006. Electrical Properties of Road Materials and the Use of Ground Penetrating Radar in Traffic Infrastructure Surveys. Väitöskirja. Oulun Yliopisto. Saatavissa: <http://herkules.oulu.fi/isbn9514282221/isbn9514282221.pdf>

SALMINEN, A. 2005. Sekoitusjyrsintä tien rakenteenparantamismenetelmänä. Opin- näytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Ympäristö- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma. 65 s.

SARA, H. 2012. Geovahvisteet. Lujitteen ja maan yhteistoiminta ja mitoituslujuus. [pdf-tiedosto] <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/uutiset/koulutukset/geolujite/Sara%20Lujitteen%20ja%20maan%20yhteistoiminta%20ViaPipe%20HS%20130312.pdf> / [viitattu 15.11.2012]

SENIOR, S., A, GORMAN, B., SZOKE, S. 2008. Recycling Road Building Materials and Experience with Full Depth Reclamation in the Ontario Provincial Highway System. Transportation Association of Canada. Toronto. Saatavissa: <http://www.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2008/docs/f1/Senior.pdf>

SFS 1998. SFS-EN 933-1 Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmät. Suomen standardoimisliitto, Helsinki.

SFS 2010. SFS-EN 1097-2 Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Iskunkestävyyden määrittämismenetelmät. Suomen standardoimisliitto, Helsinki.

SPOOF, H., PETÄJÄ, S. 2000a. TPPT-menetelmäkuvaus.1- Pudotuspainolaitemittaus (PPL-mittaus) VTT Yhdyskuntatekniikka, Espoo. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/1-pplmittaus.pdf>

SPOOF, H., PETÄJÄ, S. 2000b. TPPT-menetelmäkuvaus 2 - Rakennekerrosmoduulien takaisinlaskenta sekä jännitysten ja muodonmuutosten laskenta. VTT Yhdyskuntatekniikka. Espoo Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/2-rakennekerrosmod.pdf>

SUHONEN, K. 2005. Soratien kulutuskerrosmateriaalien vaikutus pintakelirikkoon. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto.

TIEHALLINTO 1997. Sitomattomien kerrosten ja rakenteen jäännösmoduulit ja deformaation. Belt, J. Helsinki. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 15/1997. TIEL 4000173. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf1/4000173-sitomat_krsten_ja_alusrak_jaannosmod_ja_deform.pdf

TIEHALLINTO 2001a. Tien rakennekerrosten materiaalit. Taustatietoa materiaalivalinnoille. Tiehallinnon selvityksiä 66/2001. Helsinki. Edita Oyj. TIEH 3200712. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/materiaalit66-2001.pdf>

TIEHALLINTO 2001b. Vaurioitumismallit kuntorekisteriaineistossa rakenteen suunnittelua varten (1999- 2001) Tiehallinnon selvityksiä 79/2001. Helsinki. TIEH 3200725. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200725.pdf>

TIEHALLINTO 2001c. Palvelutasomittaus (PTM) tien rakenteen parantamisen suunnittelussa. Menetelmäkuvaus TPPT 16. Tien pohja- ja päällysrakenteet tutkimusohjelma 1994- 2001. Espoo. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/16-ptm.pdf>

TIEHALLINTO 2002a. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Belt, J. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3200747. Saatavissa: http://oci oulu.fi/OuluConstructionInnovations/Tiedostot/Projektit/selv15_02.pdf

TIEHALLINTO 2002b. Kantavan kerroksen stabilointi. Toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki. Edita Oy. TIEH 2200006-02. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200006-02.pdf>

TIEHALLINTO 2003a. Sitomattoman kantavan kerroksen murskeen laadun vaikutus tien vaurioitumiseen. Tiehallinnon selvityksiä 62/2003. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3200853. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200853-vsitomattkantavkerrmurs.pdf>

TIEHALLINTO 2003b. Teräsverkkojen käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa: synteesi. Tiehallinnon selvityksiä 43/2003. Vaasa. Multiprint Oy. TIEH 3200822-v

TIEHALLINTO 2003c. Seutu- ja yhdystiet tienpidon suunnittelussa. Esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 30/2003. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3200818. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200818.pdf>

TIEHALLINTO 2003d. Stabilointien vertailu kevyessä rakenteen parantamisessa. Lehtonen K- Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tiejageo/pdf/klehtonentkallionpaastabilointientvertkevrakparant.pdf>

TIEHALLINTO 2004a. Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatutkaluotaukset ja tulosten esitystapa. Menetelmäkuvaus. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 2100027-v-04. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100027-v-04rakentparantamissuunn.pdf>

TIEHALLINTO 2004b. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Loppuraportti. Tiehallinnon selvityksiä 61/2004. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3200915 Saatavissa: http://oci oulu.fi/ouluconstructioninnovations/Tiedostot/%C3%84T-loppuraportti_310105.pdf

TIEHALLINTO 2004c. Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 2100029-04. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>

TIEHALLINTO 2004d. Tieomaisuuden kunnon yhtenäinen palvelutasoluokitus. Perusteet, nykytila ja ehdotus luokitukseksi. Tiehallinnon selvityksiä 32/2004. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3200882-v. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200882-vtieomaisptluok.pdf>

TIEHALLINTO 2004e. Vähäliikenteisten teiden hoidon, ylläpidon ja korvausinventointien kustannukset. Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelma. Tiehallinnon selvityksiä 5/2004. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3200854. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200854_vvahaliik.pdf

TIEHALLINTO 2004f. Tietoa tiensuunnitteluun nro 73. Tiehallinto, Tekniset palvelut. Ennakkotietoa 9.1.2004. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ttiens/tts73.pdf>

TIEHALLINTO 2005a. Kunnostusmenetelmän valinnan problematiikka. Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito –tutkimusohjelma. Belt, J, Lämsä, V-P. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 38/2005. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 4000475-v. Saatavissa: <http://oci oulu.fi/OuluConstructionInnovations/Tiedostot/Projektit/KunnostusmenetelmäC3%A4n%20valinnan%20problematiikka.pdf>

TIEHALLINTO 2005b. Tien päällysrakenteen mitoituksessa käytettävät moduulit ja kestävyysmallit. Tietoa tiensuunnitteluun nro 71D. Tiehallinto: tie- ja geotekniikka. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tts71d.pdf>

TIEHALLINTO 2005c. Asfaltin uusiokäyttö tierakentamisessa. Lämsä V-P. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 27/2005. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 4000464-v. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/4000464-vasfaltinuusiokaytto.pdf>

TIEHALLINTO 2005d. Tieomaisuuden yhtenäinen kuntoluokitus. Tiehallinnon selvityksiä 57/2005. Helsinki. TIEH 3200969-v. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200969-v_voh_kuntoluokitus.pdf

TIEHALLINTO 2005e. Penger- ja kerrosrakenteet. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Helsinki. TIEH 2200043-v-05. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200043-v-04penger_ja_leikk.pdf

TIEHALLINTO 2005f. Rakenteen parantamisen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 2100035-05. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100035-v-05rakentparantsuun.pdf>

TIEHALLINTO 2006. S 14 Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito. Yhteenveto, Tiehallinnon selvityksiä 11/2006. TIEH 3200987-v. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200987-v-s14-yhteenveto.pdf>

TIEHALLINTO 2007a. Automaattinen päällystevaurioiden mittaus (APVM) vauriotiedon käyttö päällysteen tiestön ylläpidossa. Dietrich J, Ruotoistenmäki A. Tiehallinnon selvityksiä 13/2007. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3201039-v. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3201039-v-voh_automaatt_paallystevaurioiden_mittaus.pdf

TIEHALLINTO 2007b. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 2100041-07. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>

TIEHALLINTO 2007c. Kerrostabilointien täysmittakaavakokeet. Laukkanen K, Laaksonen R Tiehallinnon selvityksiä 45/2007. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3201071-v. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201071_vkerrpsstabil_taysmittakaavak.pdf

TIEHALLINTO 2007d. Käsikirja päällysteiden pinnan kunnon mittaamiseen. APVM 200- 2007 T&K. Tiehallinnon selvityksiä 21/2007. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3201047-v Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3201047-v-kasikirja_paallysteiden_pinnan_kunnon_mitt.pdf

TIEHALLINTO 2007e. Bitumia sisältävien kerrostabilointien pohjoismaiset testausmenetelmät. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 43/2007. 54 s. TIEH 3201069-v. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201069vbitumia_sisalt_kerrosstab_pohjois_test.pdf

TIEHALLINTO 2007f. Päällysrakenteen stabilointi. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 2100055-07. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100055-v-07paallysrakenteen_stabilointi.pdf

TIEHALLINTO 2009. Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa. Kanerva-Lehto H. Tiehallinnon selvityksiä 20/2009. Helsinki. Edita Prima Oy. TIEH 3201128-v Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201134-v-terasverkkojen_kaytto.pdf

TIELAITOS 1994. Päällystevaurioiden inventointiohje. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 13/1994. Helsinki. TIEL 4000063.

TIELAITOS 2000. Los Angeles ja Micro-Deval –kokeiden vertailu. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 35/2000. Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki. Oy Edita Ab. TIEL 4000255.

TIWARI, B. 2008. Constant head and falling head permeability test. Civil and Environmental Engineering Department. Cal State Fullerton. Saatavissa: http://faculty.fullerton.edu/btiwari/geotech_Lab/mainpage_files/other/Permeability.pdf

TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION 2005. .Impact of Aggregate Gradation on Base Material Performance. Gandara J. Research project TX-0-4358, El Paso. Saatavissa:http://ctis.utep.edu/publications/Reports/Report_4358_2Final1.pdf

WIRTGEN, 2006. The New Generation of Recyclers. Recycler WR 2500 S. Germany. [PDF-tiedosto]<http://www.wirtgen.de/media/redaktion/pdf-dokumente/03_kaltrecycling_stabilisierung/wr_2500_s/prospekt_22/p_wr2500s_e.pdf>

VÄISÄNEN, J. 2001. Geovahvisteet asfalttipäällysteiden heijastushalkeamien estämisessä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto.

Uudenmaan ELY -keskuksen kesän 2012 kohteet

Suunnitelmaselostukset:

MARJETA, J. 2011.Uusikartano-Palopuro 11491 2/0-2/4694. Carement Oy. Suunnitelmaselostus.

NIKU, M. 2008. Pakankylä-Röylä 11363 1/0 – 1/3465. Road Consulting Oy. Suunnitelmaselostus. Rovaniemi

NIKU, M. 2009. Lautaporras – Sillantaka 2846 1/0 – 6/6122. Road Consulting Oy. Suunnitelmaselostus. Rovaniemi

NISSINEN, O., RANTANEN, T. 2011. Maantie 2855 (Viisari-Renko). Suunnitelma-teksti.

SILVOLA, I. 2010. Lehmijärvi –Vanhakylä 11169 2/0-6534. Carement Oy. Rovaniemi

SILVOLA, I. 2011a. Rahkoila –Tyrvöntö 3061 1/0-2/5795m. Carement Oy. Raportti. Rovaniemi.

SILVOLA, I. 2011B. Nuijaportto 13961 1/0-2/4000m. Carement Oy. Raportti. Rovaniemi.

SMED, V. 2009. Kiipula –Rauhala 13836 2/0-2/3742. Carement Oy. Raportti. Rovaniemi

SMED, V. 2010a. Paistianmäki –Heinäjäki 13844 1/0-1/8352. Carement Oy Raportti. Rovaniemi.

SMED, V 2010b. Suurikylä- Kinnari 1734 1/0-2940. Carement Oy. Raportti. Rovaniemi.

Työkohdeluettelo:

ELY-KESKUS. 2012. Työkohdeluettelo UUD 1-3. Uudenmaan ELY -keskus, Tuomas Vasama. [Excel-tiedosto]

Aikataulut:

SKANSKA ASFALTTI OY 2012. Aikataulu UUD 3 ELY. [Excel-tiedosto]

LEMMINKÄINEN 2012a. UUD 1-3 2012 Aikataulu. Seppä J. [PDF -tiedosto]

NCC ROADS OY 2012. Aikataulu- UUD 1 TP 2012. [PDF -tiedosto]

Lisämurskeiden rakeisuudet:

LEMMINKÄINEN 2012b. Näytetutkimustulokset, Yhteenvedo. Seepsula. [pdf-tiedosto]

NCC ROADS OY 2012b. Testausseloste, rakeisuus, V-112-23. [pdf- tiedosto]

NCC ROADS OY 2012c. Testausseloste, rakeisuus, V-112-24. [pdf- tiedosto]

NCC ROADS OY 2012d. Testausseloste, rakeisuus, V-112-25.. [pdf- tiedosto]

NCC ROADS OY 2012e. Testausseloste, rakeisuus, V-112-26. [pdf- tiedosto]

NCC ROADS OY 2012f. Testausseloste, rakeisuus, 0-32 KaM 5 7 2012 Ohkola [pdf-tiedosto]

SKANSKA ASFALTTI OY 2012b. KaM56. [PDF-tiedosto]

SKANSKA ASFALTTI OY 2012c. KaM31. [PDF-tiedosto]

Asiantuntijahaastattelut

Nissinen A & Kärjä A-K. Urakoitsija. Andament Oy. 24.2.2012

Rantanen T. Suunnittelija. SITO Oy. 29.2.2012

Liiteluettelo

Liite A. Sekoitusjyrsinnän mitoittaminen

Liite B. Vauriosummat/ kuntotiedot

Liite C. Eri Rakenteenparantamistoimenpiteiden vaikutukseen tien kuntoon

Liite D. Rakeisuudet

Liite E. Imupainekokeen tuloksia

Liite F. Työkohdesuunnitelmat

Liite G. Lisämurskeiden rakeisuudet

Liite H. Vanhojen SJYR -kohteiden rakeisuudet

Liite I. SCI 300

Liite J. Rakenteen parantamistoimenpiteiden hinnat

Liite K. Rakenteen parantamistoimenpiteiden vaikutukset tien kantavuuteen

Liite A: Sekoitusjyrsinnän mitoittaminen

Sekoitusjyrsinnän mitoittamisesta on julkaistu esimerkki Tiehallinnon julkaisussa: Rakenteen parantaminen.

Taulukko 3 b) Päälyste poistetaan tai rikotaan tai rakenteen yläosaa käsitellään

Lasketaan ensin alustan kantavuus vähentämällä poistettavan tai rikottavan tai käsiteltävän kerroksen osuus homogeenisen jakson kantavuusarvosta. Toimenpiteiden jälkeinen kantavuusarvo voidaan tämän jälkeen laskea alustan kantavuuden sekä uusien kerrosten paksuuksien ja moduulien avulla. Laskentaan vaikuttaa (= pitää käyttää aputasoja) Tierakenteen suunnitteluohjeen kohdassa 3.2.4 esitetty Odemarkin kantavuuskaavaan liittyvä ehto, jonka mukaan laskennassa ei saa käyttää alle 150 mm paksuista sitomatonta kerrosta.

Tapaus 1: Sekoitusjyrsintä, joka pitää vanhan moduulin ennallaan + 0...100 mm:n murskekerros.

Alustan kantavuuden laskentaperusteet: Laskennassa tarvitaan aputaso, joka on 150 mm vanhan päälysteen alapinnan alapuolella. Aputason kantavuus lasketaan iteroimalla sellaiseksi, että päälysteen kantavuus tulee lämpötila- ja kevätkantavuuskertoimella korjatun mittaustuloksen suuruiseksi käyttäen päälysteen moduulia ja paksuutta ja kantavan kerroksen ylimmän 100 mm:n moduulia.

Aputason kantavuus saadaan liitteen 2 taulukoista A1...A3, kun vanhan päälysteen paksuus ja laatu sekä vanhan rakenteen kantavuus tunnetaan. Laskennassa kantavan kerroksen paksuus on 150 mm ja moduuli 200 tai 280 MN/m².

Lisättävän murskekerroksen päältä saatava kantavuus lasketaan lähtien aputason kantavuudesta ja käyttäen päällä oleville kerroksille vanhan kantavan kerroksen yläosan moduulia sekä kerrospaksuutta, joka on 150 mm + vanhan päälysteen paksuus (jos se jyrsitään sitomattoman kiivaineksen joukkoon eikä poisteta) + uuden murskekerroksen paksuus. Sitomattomien kerrosten päältä lasketusta kantavuudesta lasketaan edelleen uuden päälysteen päältä saatava kantavuus käyttäen uuden päälysteen paksuutta ja moduulia.

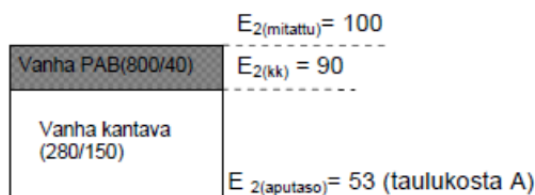
Tapaus 2: Sekoitusjyrsintä + 50 mm:n sepelilisäys, jotka parantavat huonolaatuisen (200 MPa) kantavan kerroksen yläosan moduulia 40 %. Lasketaan kuten tapaus 1, mutta sekoitusjyrsintyn kerroksen moduuliksi valitaan 280 MPa.

Esimerkki sekoitusjyrsinnän mitoituksesta (tapaus 1):

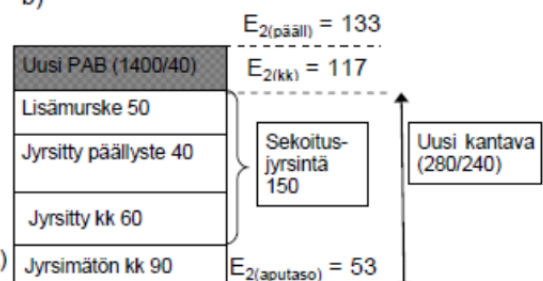
- a) Vanha rakenne ennen sekoitusjyrsintää b) Uusi rakenne sekoitusjyrsinnän, murskeen lisäyksen ja uuden päälystyksen jälkeen

Suluissa on esitetty kerroksen moduuli (MN/m²)/kerroksen paksuus (mm).

a)



b)



Liite B: Vauriosummat/ kuntotiedot

Kuvissa 54-110 on tiedot vanhojen sekoitusjyrsintäkohteiden kuntomuuttujista. Kohteiden vauriosummat on mitattu kesän 2012 aikana Aalto-yliopiston toimesta. Vauriosummissa ja tienkäyttäjän vauriosummissa on käytetty taulukon 26 painokertoimia. Tien vaurioitumisnopeus on laskettu ainoastaan tavallisen vauriosumman perusteella. Tiedot kohteiden urasyvyydestä, pituussuuntaisesta tasaisuudesta ja harjanteen korkeudesta ovat peräsin Liikenneviraston kuntorekisteristä. Kuvaajiin on merkitty väreillä kuntomuuttujien raja-arvot:

Vauriosumma, tienkäyttäjän vauriosumma, urasyvyys ja tasaisuus:

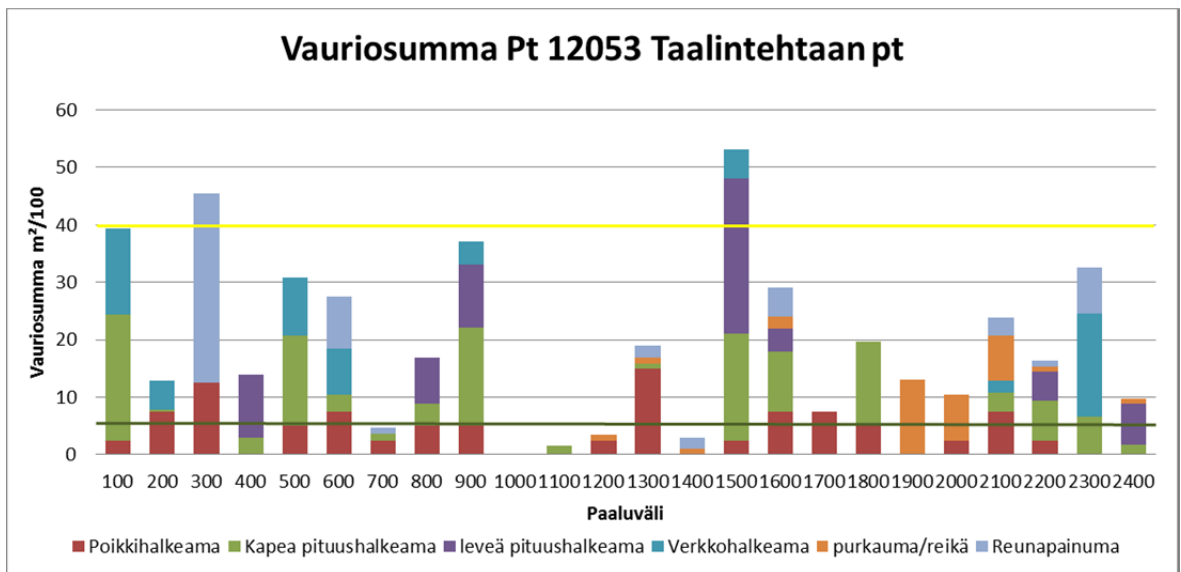
- Vihreä = viivan alapuolella erittäin hyvä ja viivan yläpuolella hyvä
- Keltainen = viivan alapuolella hyvä ja viivan yläpuolella tyydyttävä
- Vaalean punainen = viivan alapuolella tyydyttävä ja viivan yläpuolella huono
- Tumman punainen = viivan alapuolella huono ja viivan yläpuolella erittäin huono

Vaurioitumisnopeus:

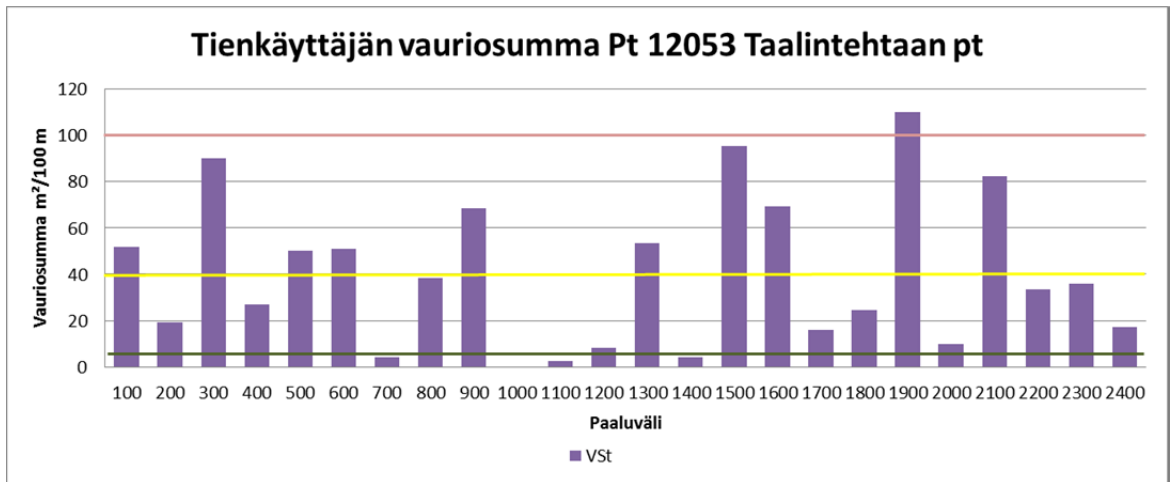
- Punainen = nopeasti vaurioituvan raja-arvo

Harjanteen korkeus:

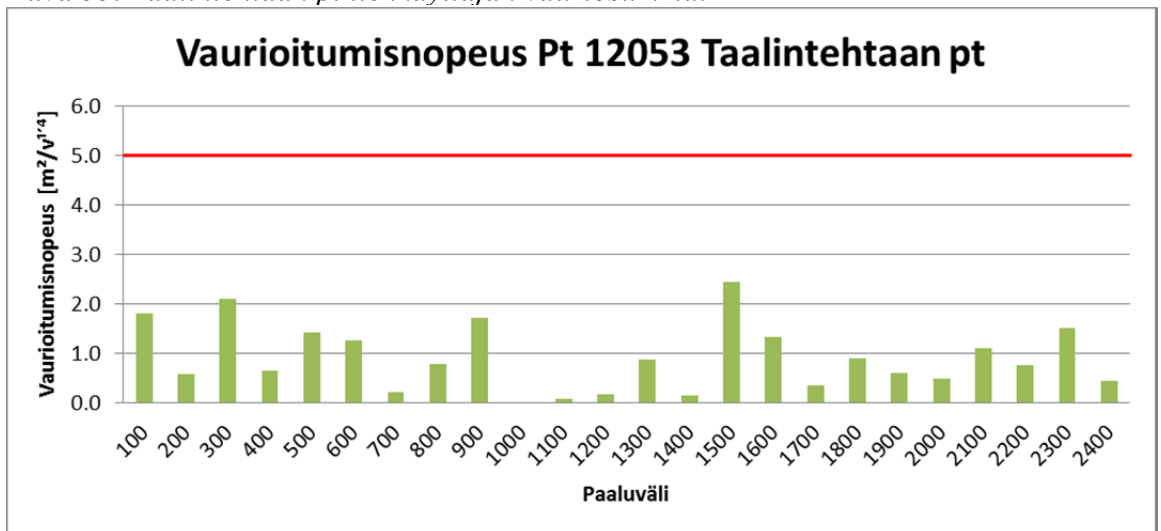
- Vaalean punainen (0 -20 mm) = alapuolella tien normaaleja arvoja, yläpuolella tien poikkileikkauksessa on vikaa.
- Tumman punainen(> 40 mm): Ongelmallinen tien poikkileikkaus



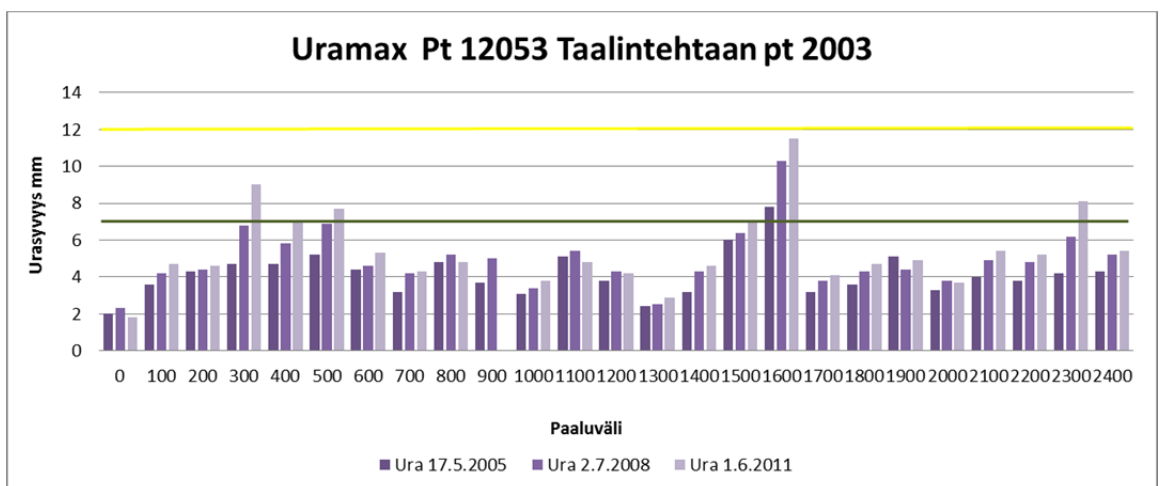
Kuva 54. Taalintehtaan pt vauriosumma



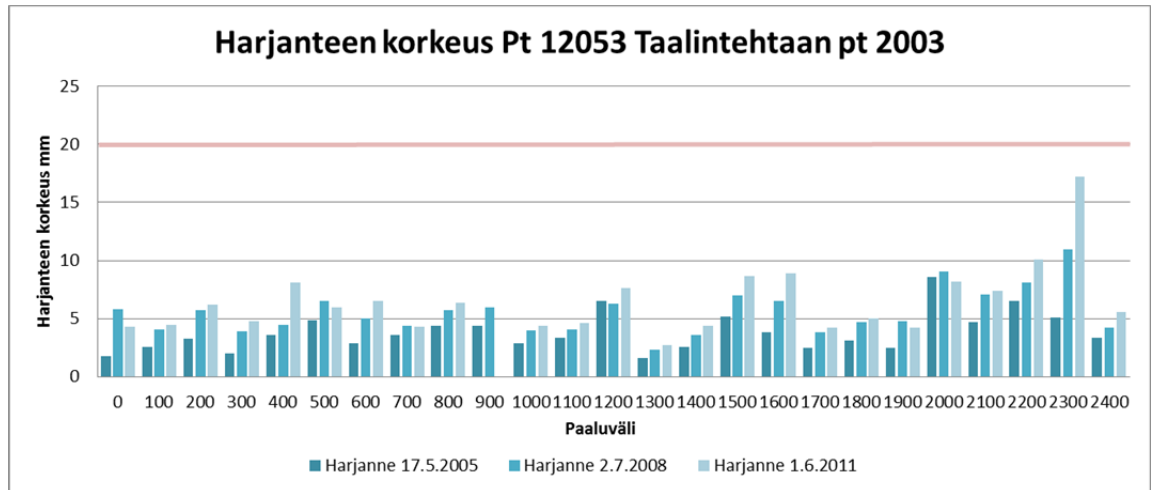
Kuva 55. Taalintehtaan pt tienkäyttäjän vauriosumma.



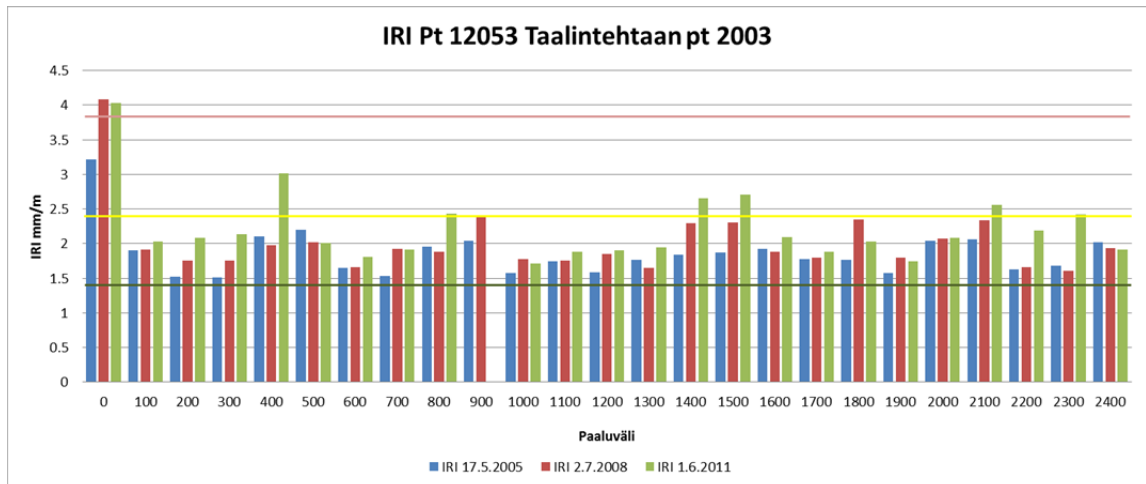
Kuva 56. Taalintehtaan pt vaurioitumisnopeus



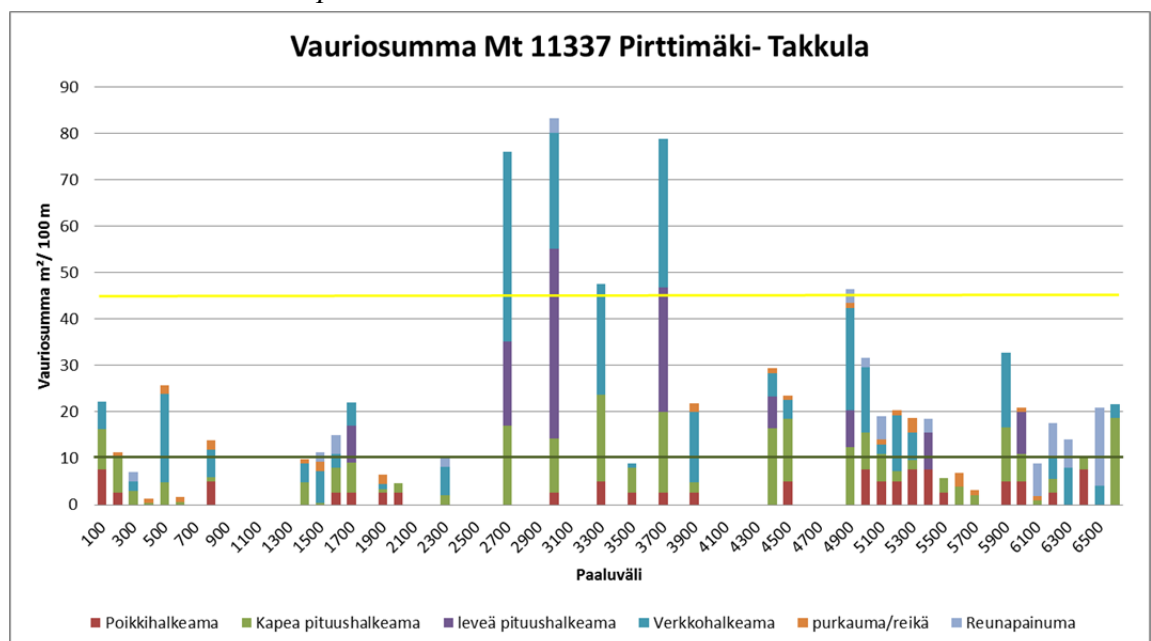
Kuva 57. Taalintehtaan pt urasyyvyys



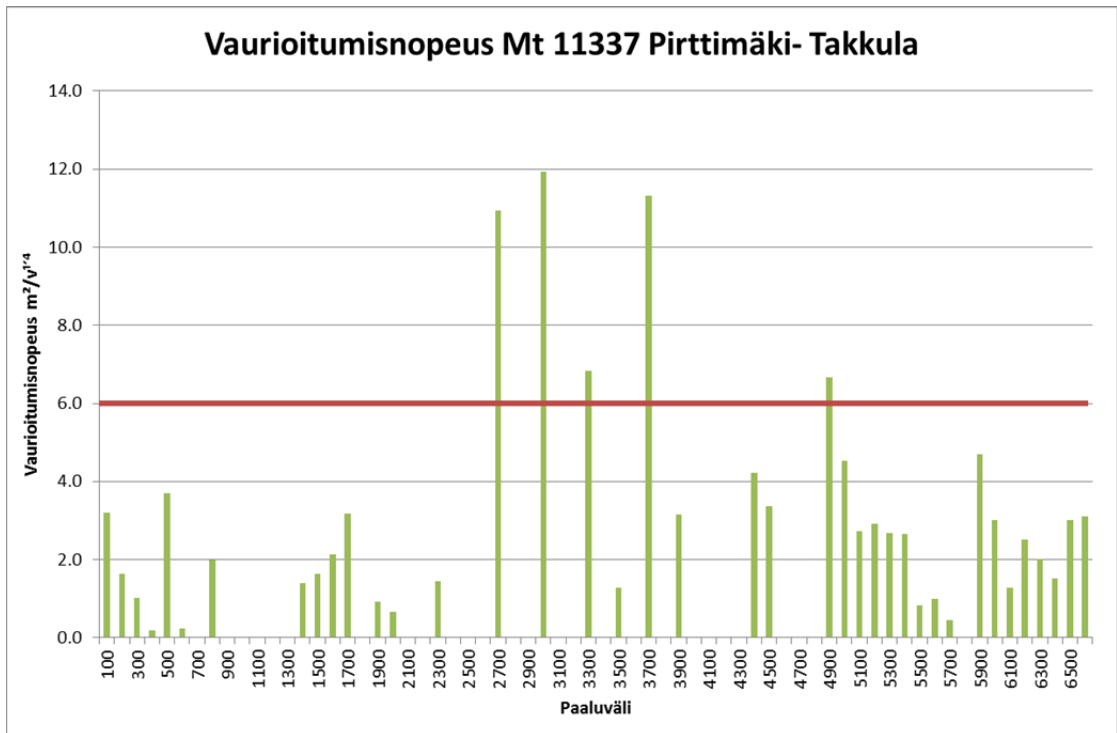
Kuva 58. Taalintehtaan pt Harjanteen korkeus



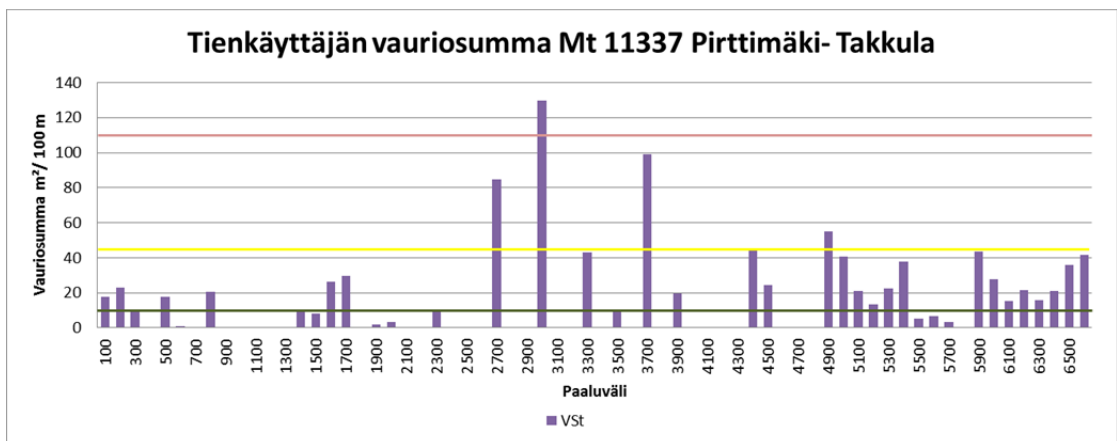
Kuva 59. Taalintehtaan pt tasaisuus



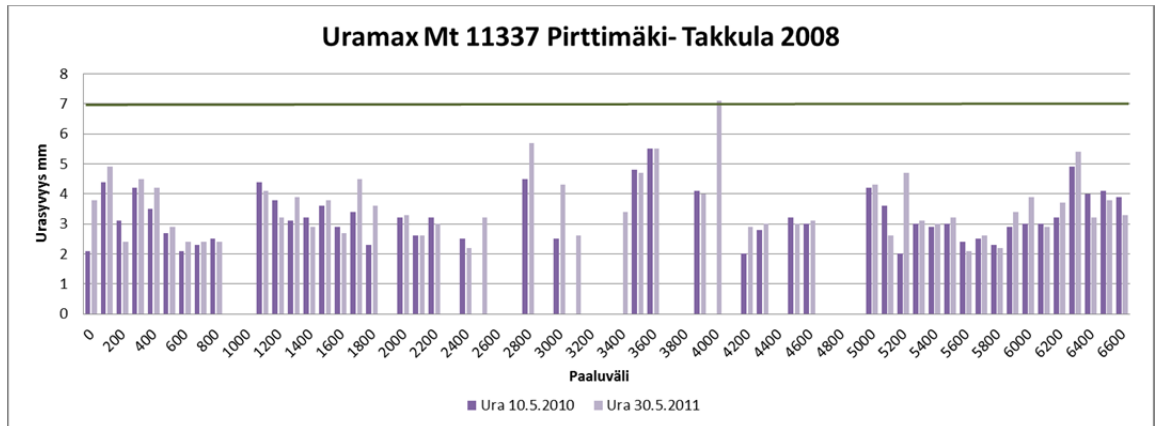
Kuva 60. Vauriosumma Pirttimäki -Takkula



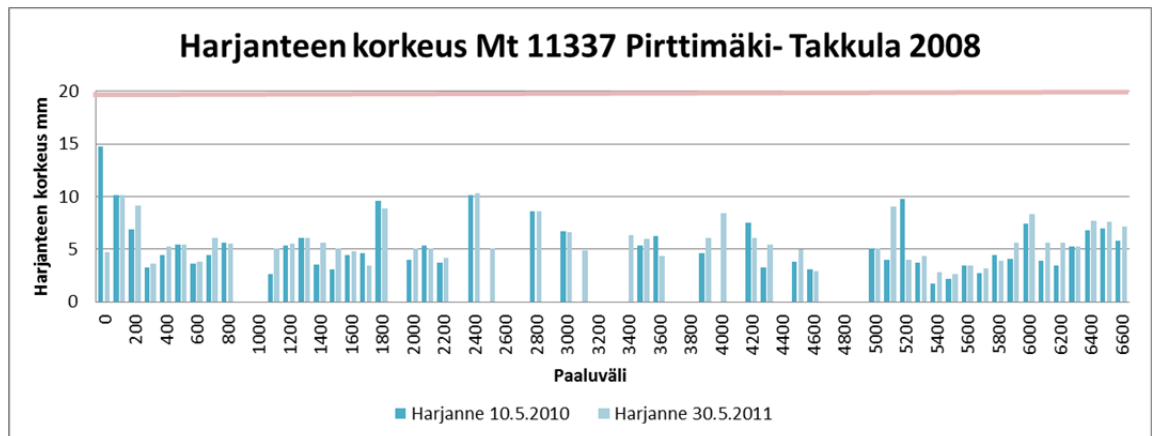
Kuva 61. Vaurioitumisnopeus Pirttimäki –Takkula



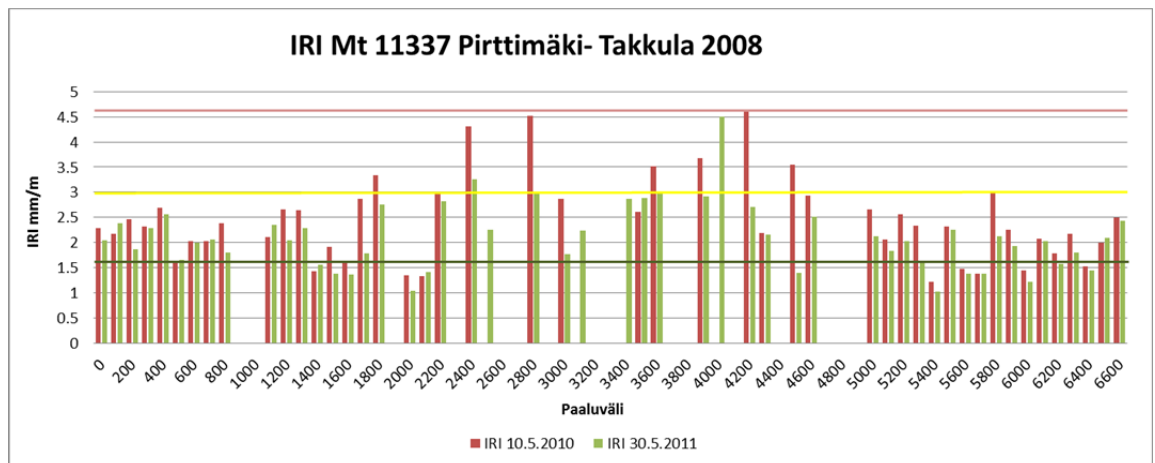
Kuva 62. Tienkäyttäjän vauriosumma Pirttimäki -Takkula



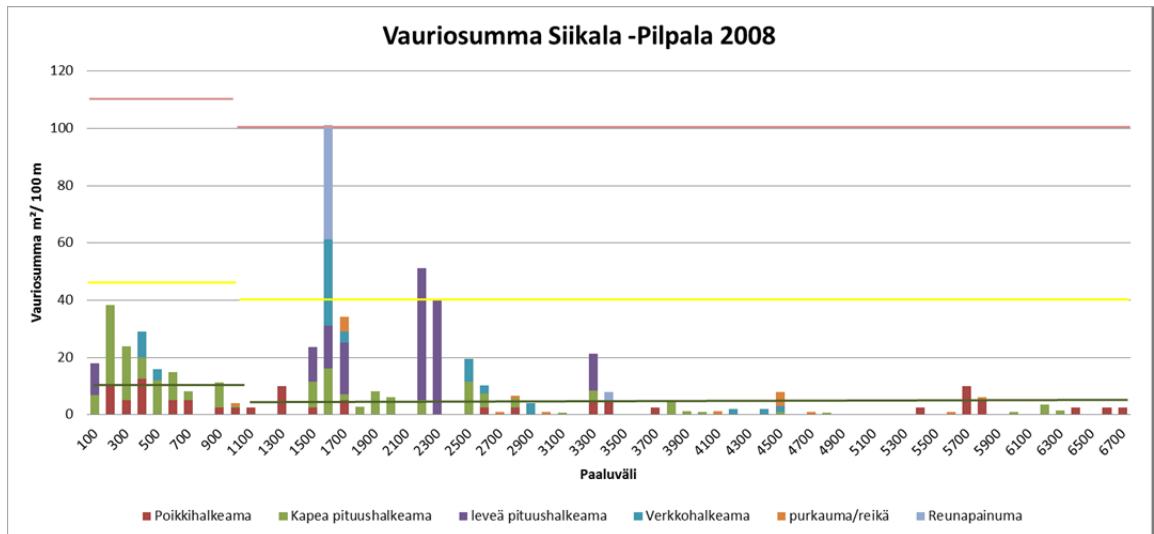
Kuva 63. Urasyyvyys Pirttimäki -Takkula.



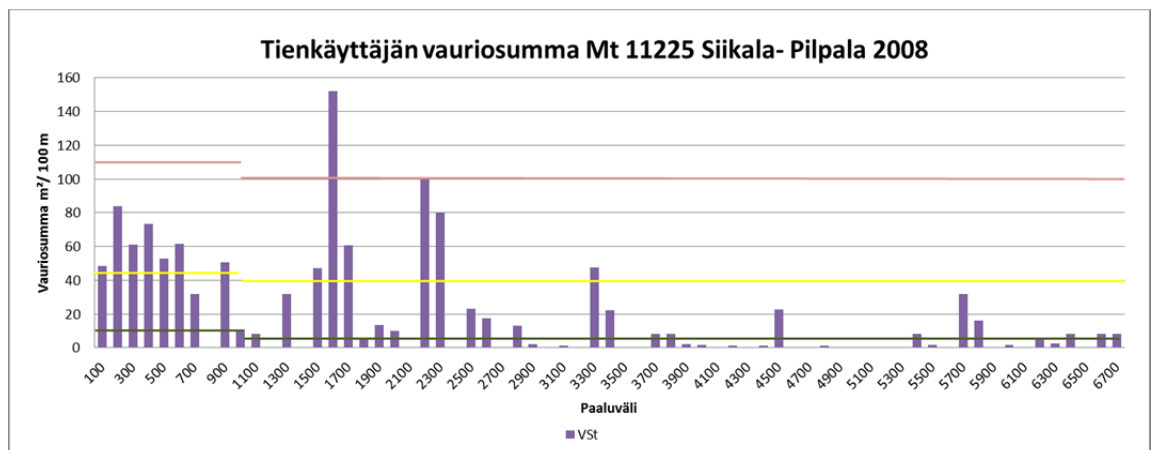
Kuva 64. Harjanteen korkeus Pirttimäki -Takkula.



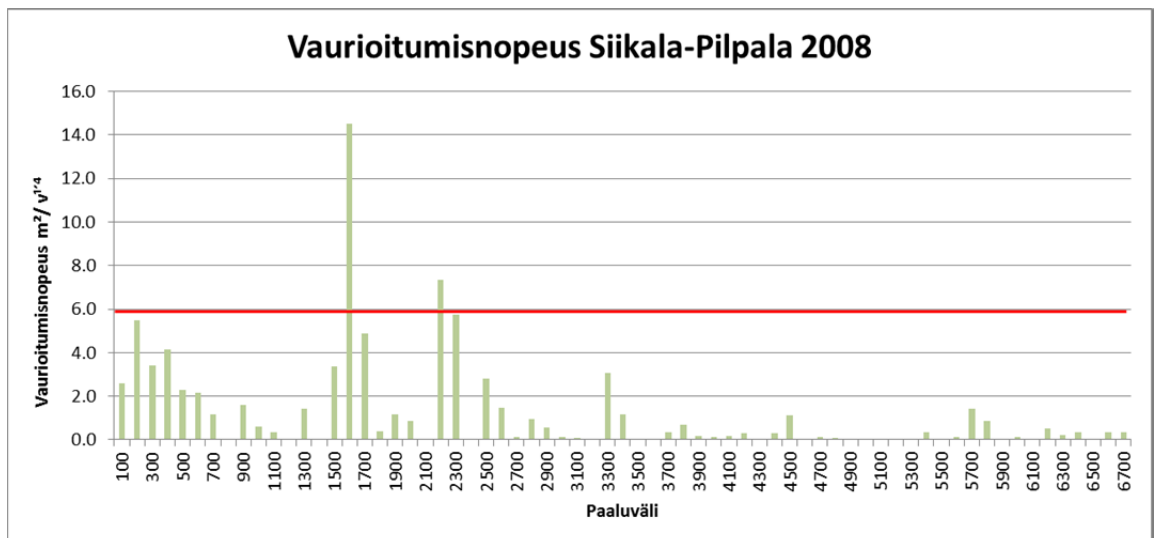
Kuva 65. Tasaisuus Pirttimäki -Takkula.



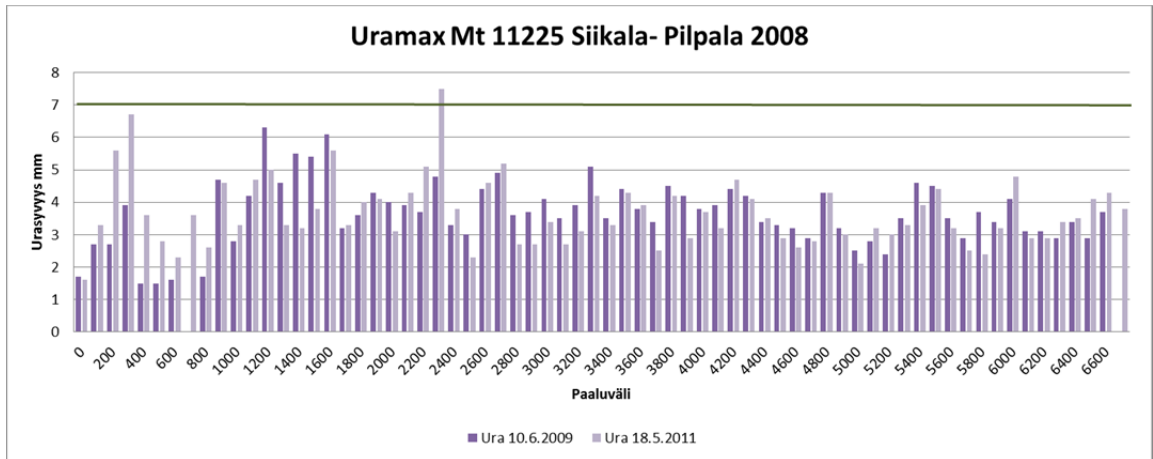
Kuva 66. Vauriosumma Siikala –Pilpala.



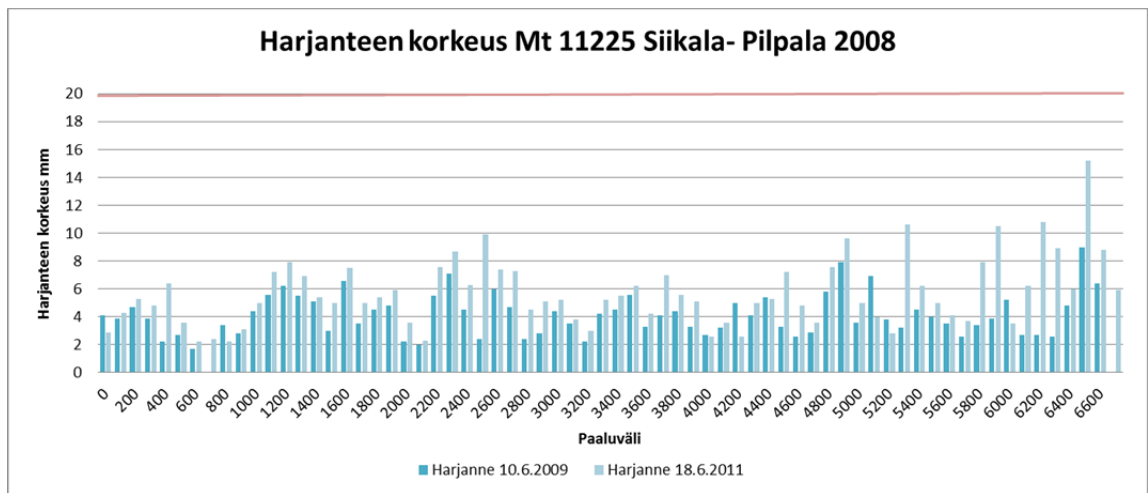
Kuva 67. Tienkäyttäjän vauriosumma Siikala –Pilpala.



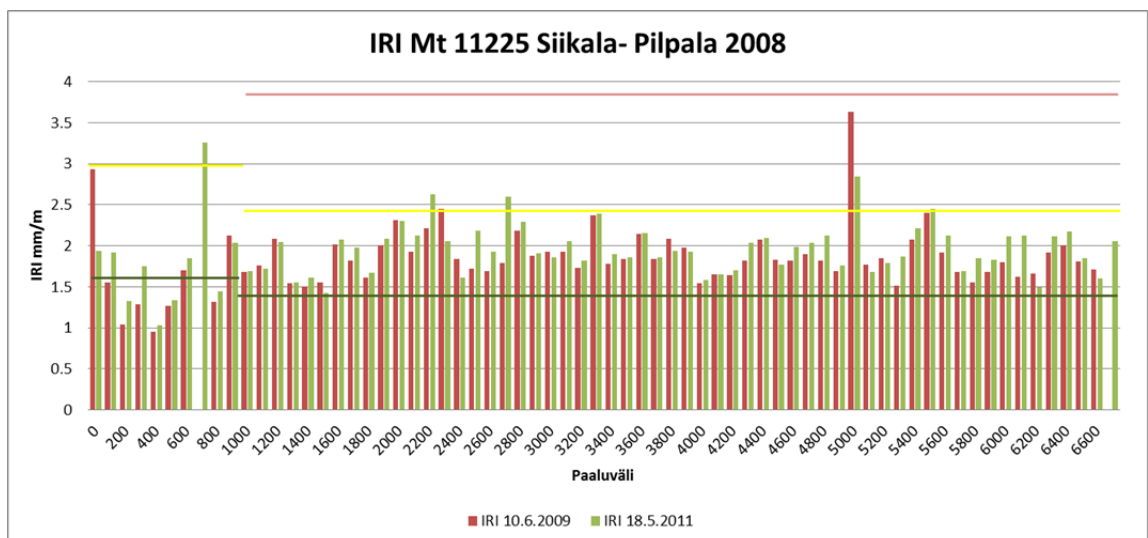
Kuva 68. Vaurioitumisnopeus Siikala-Pilpala.



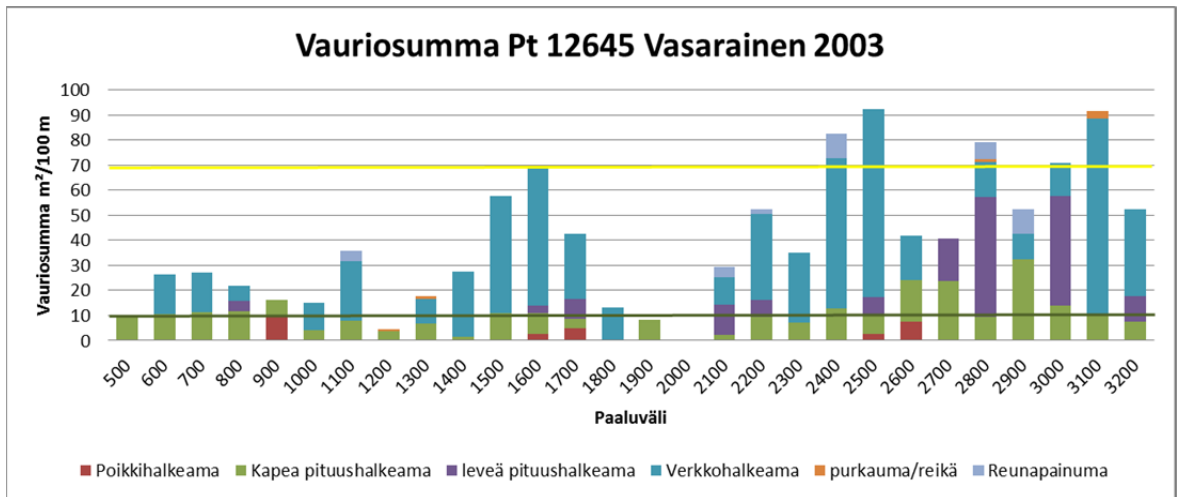
Kuva 69. Urasyyvyys Siikala -Pilpala.



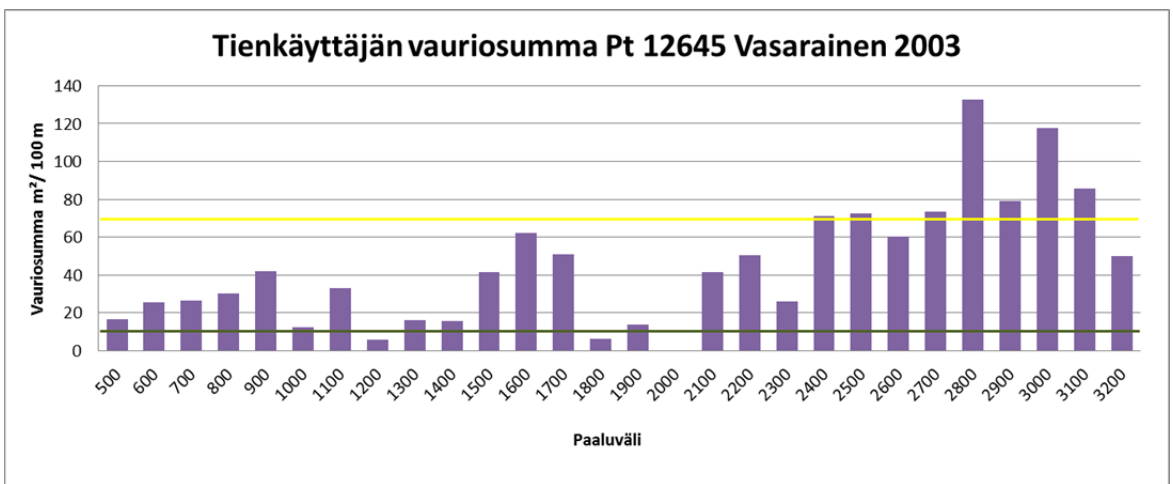
Kuva 70. Harjanteen korkeus Siikala -Pilpala.



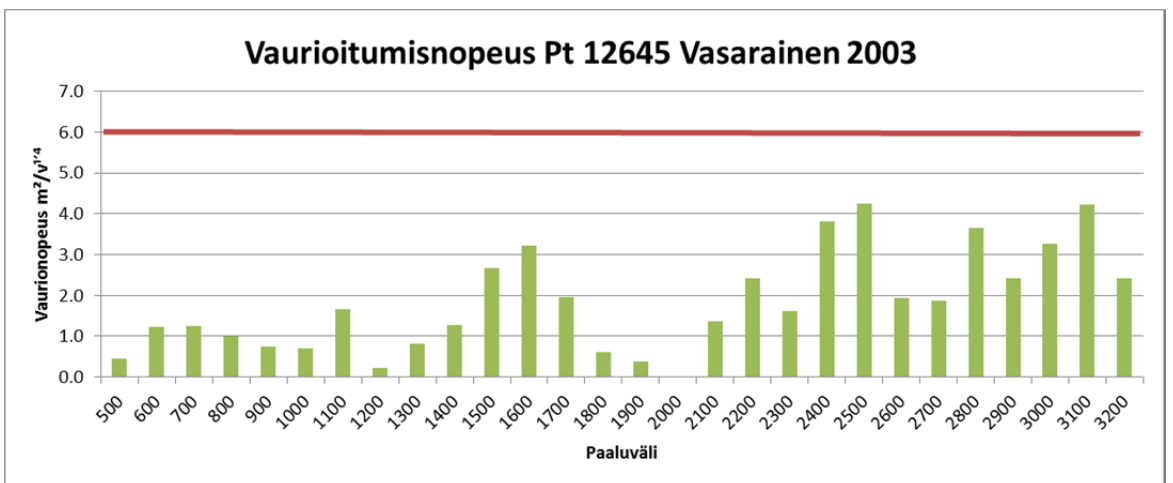
Kuva 71. Tasaisuus Siikala -Pilpala.



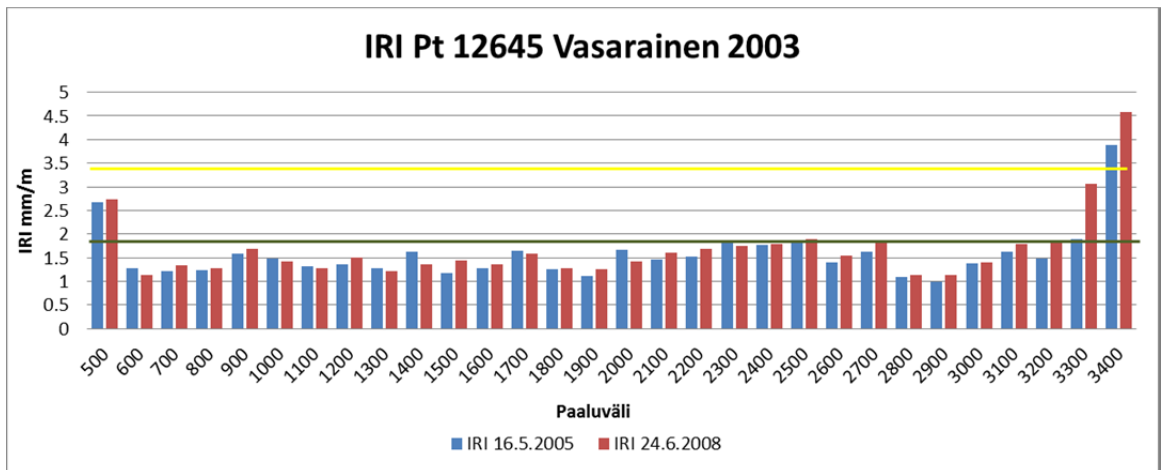
Kuva 72. Vauriosumma Vasarainen.



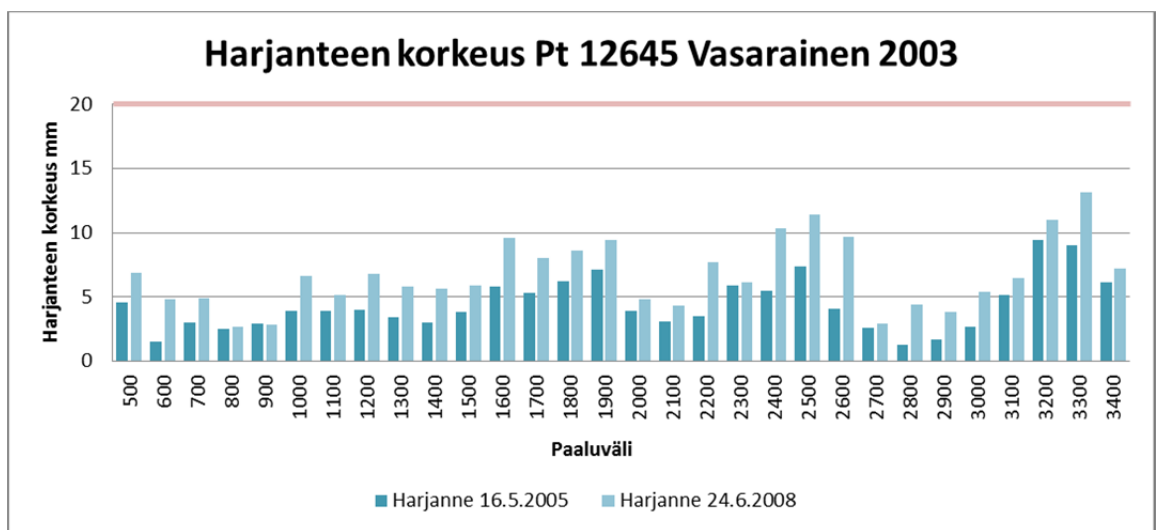
Kuva 73. Tienkäyttäjien vauriosumma Vasarainen.



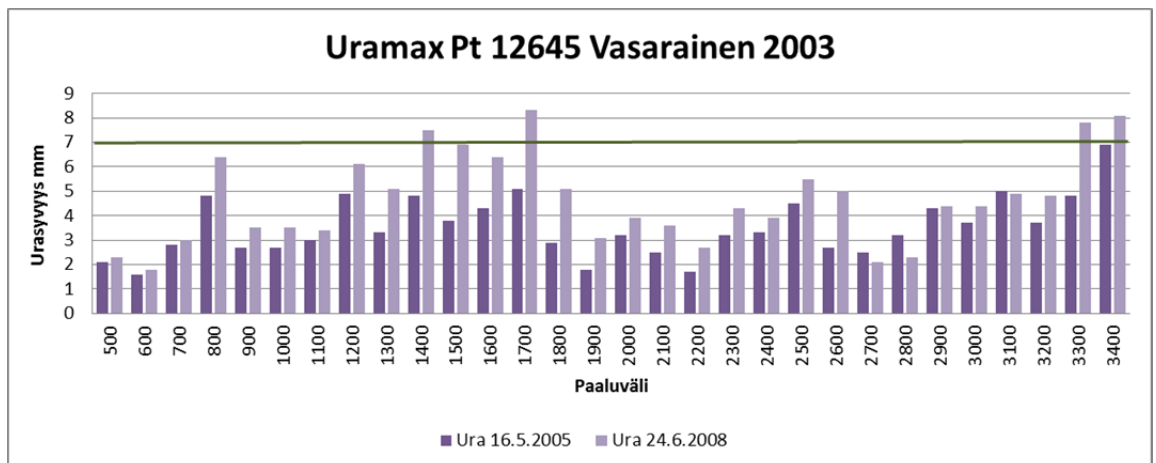
Kuva 74. Vaurioitumisnopeus Vasarainen



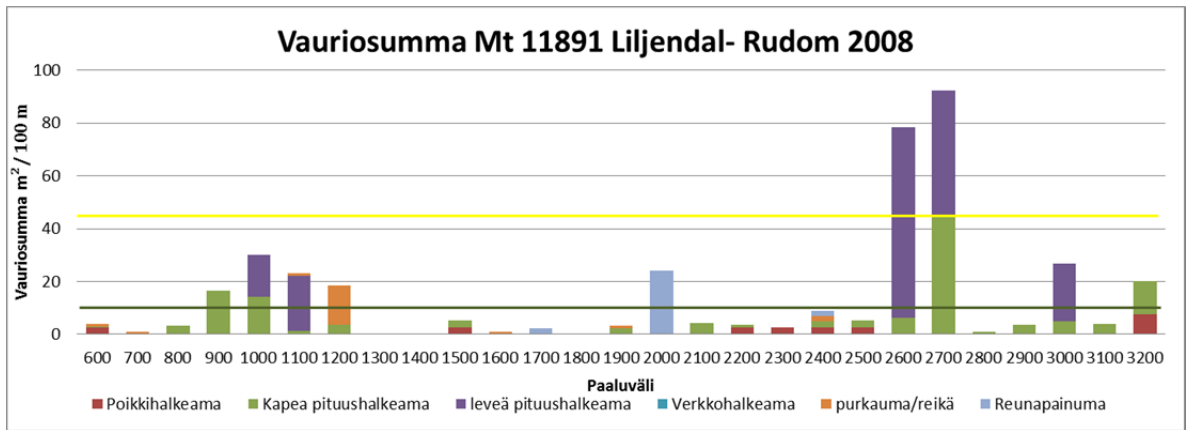
Kuva 75. Tasaisuus Vasarainen.



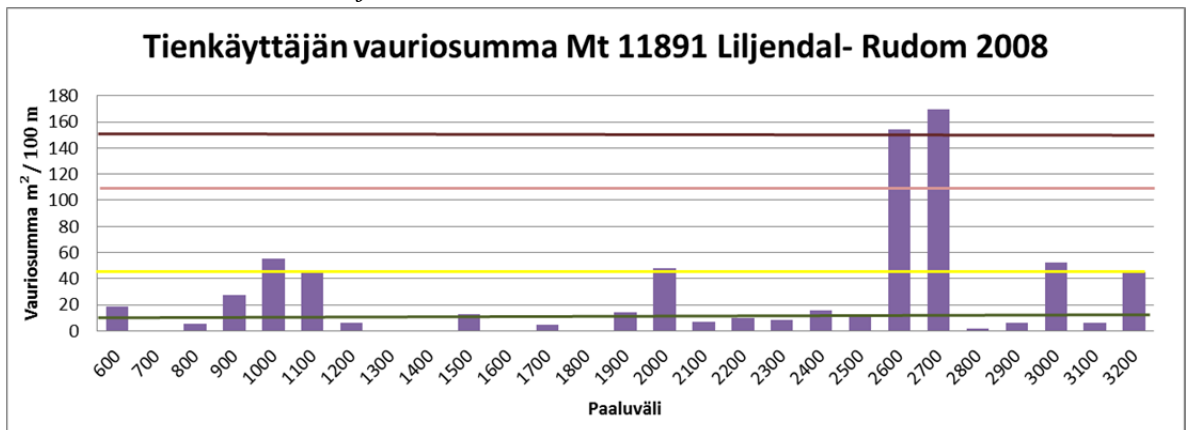
Kuva 76. Harjanteen korkeus Vasarainen.



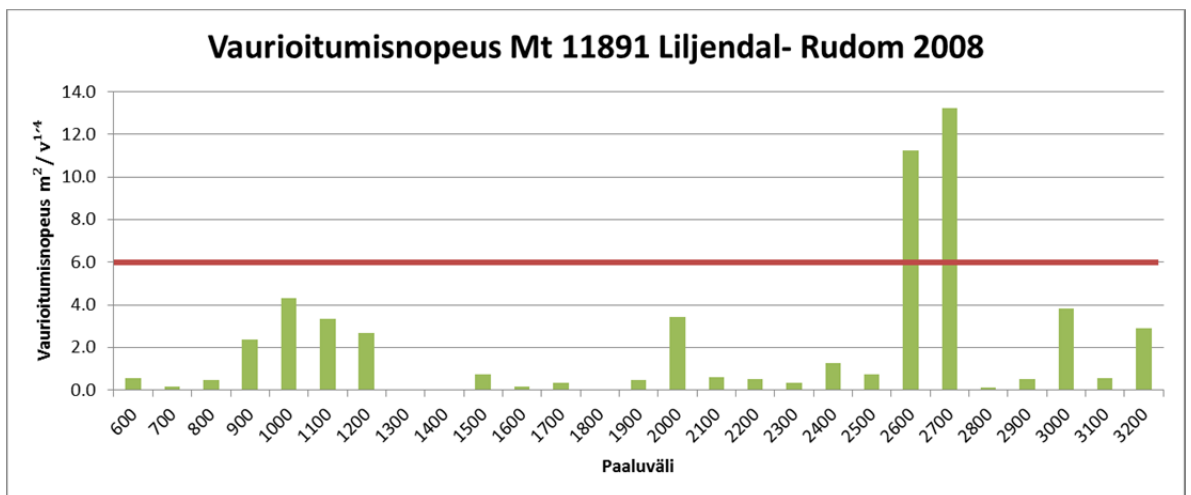
Kuva 77. Urasyyvyys Vasarainen



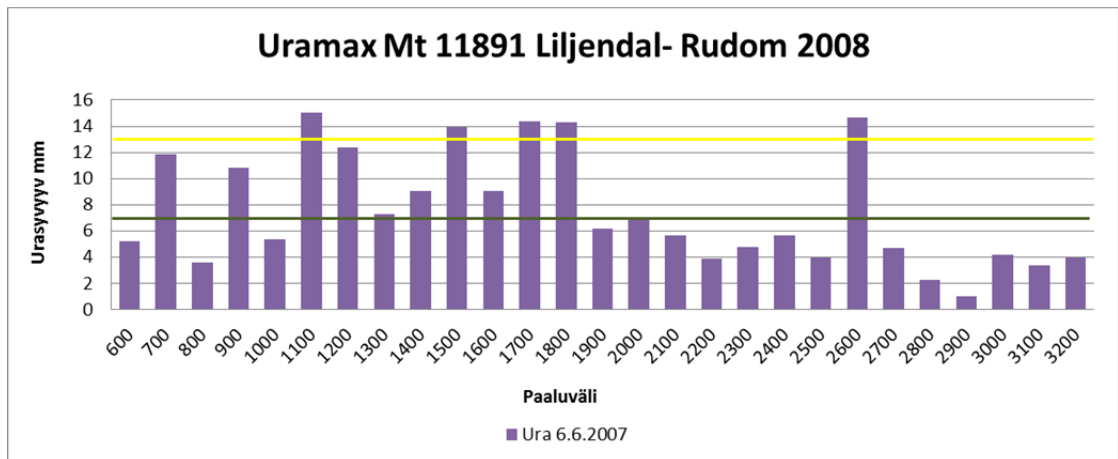
Kuva 78. Vauriosumma Liljendal -Rudom.



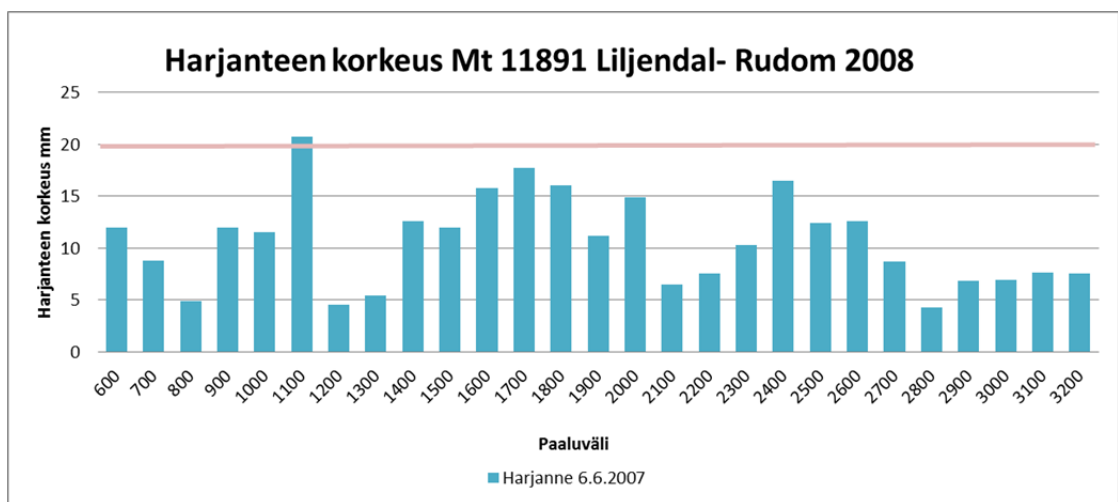
Kuva 79. Vaurioitumisnopeus Liljendal -Rudom.



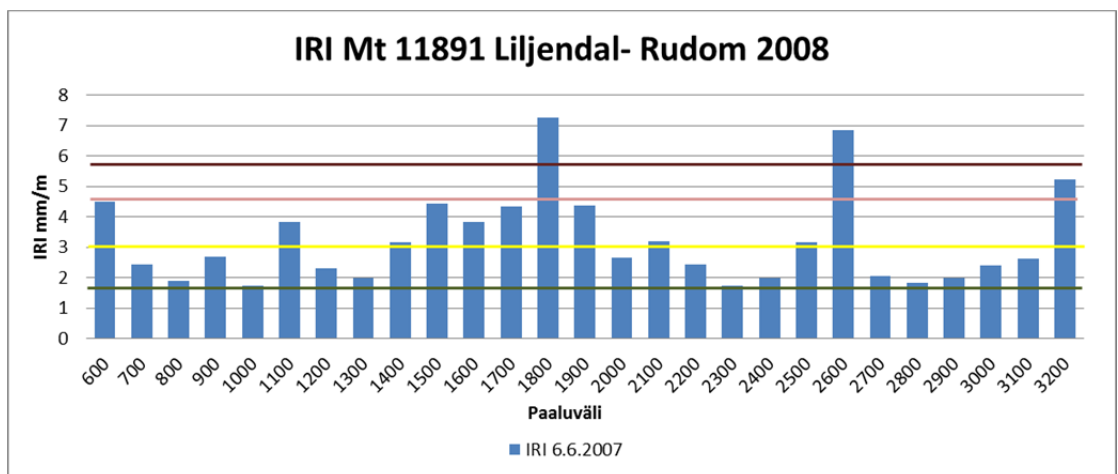
Kuva 80. Tienkäyttäjän vauriosumma Liljendal -Rudom.



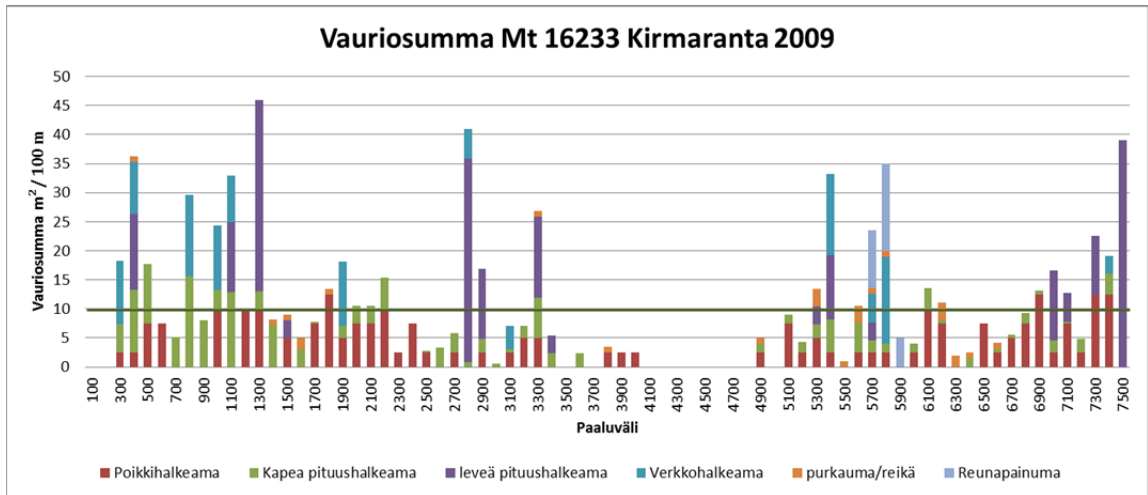
Kuva 81. Urasyyvyys Liljendal -Rudom.



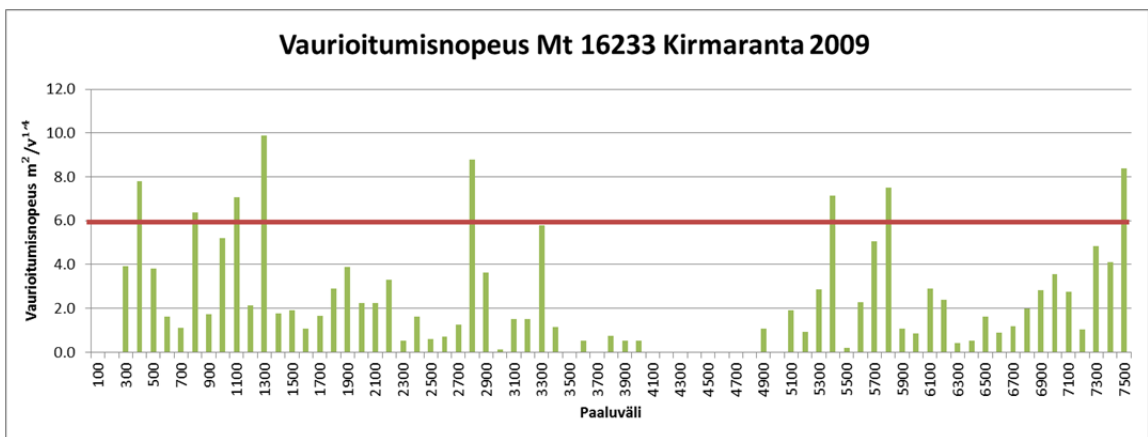
Kuva 82. Harjanteen korkeus Liljendal -Rudom.



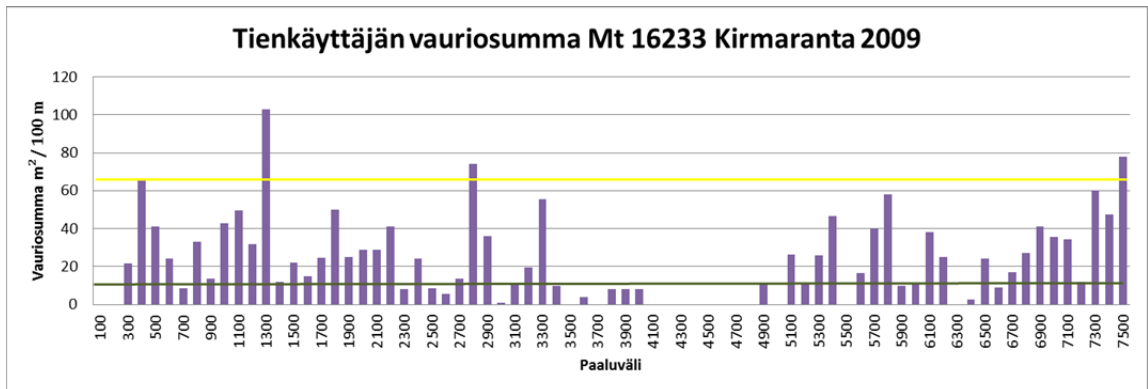
Kuva 83. Tasaisuus Liljendal -Rudom.



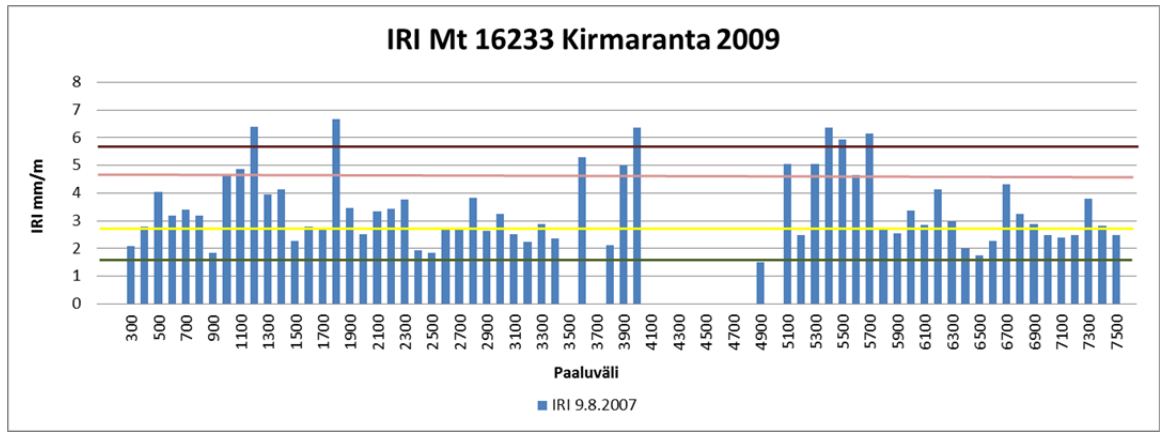
Kuva 84. Vauriosumma Kirmaranta.



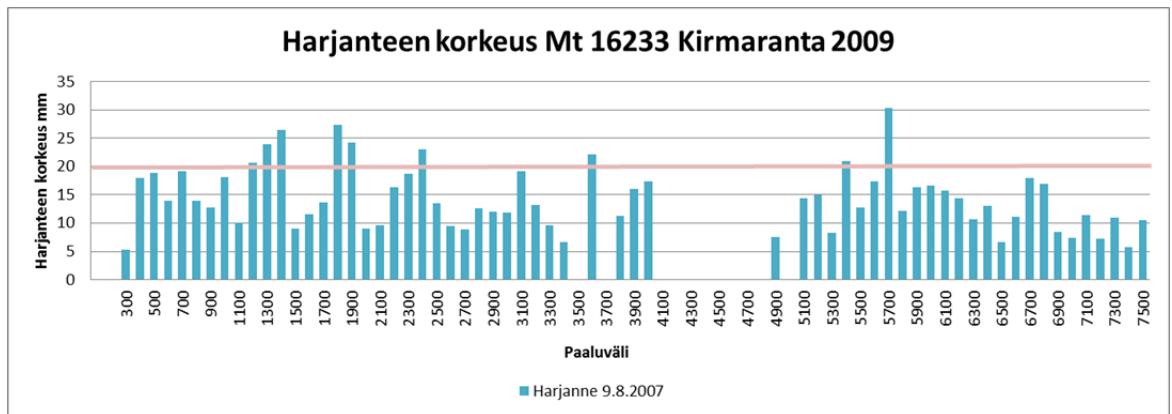
Kuva 85. Vaurioitumisnopeus Kirmaranta.



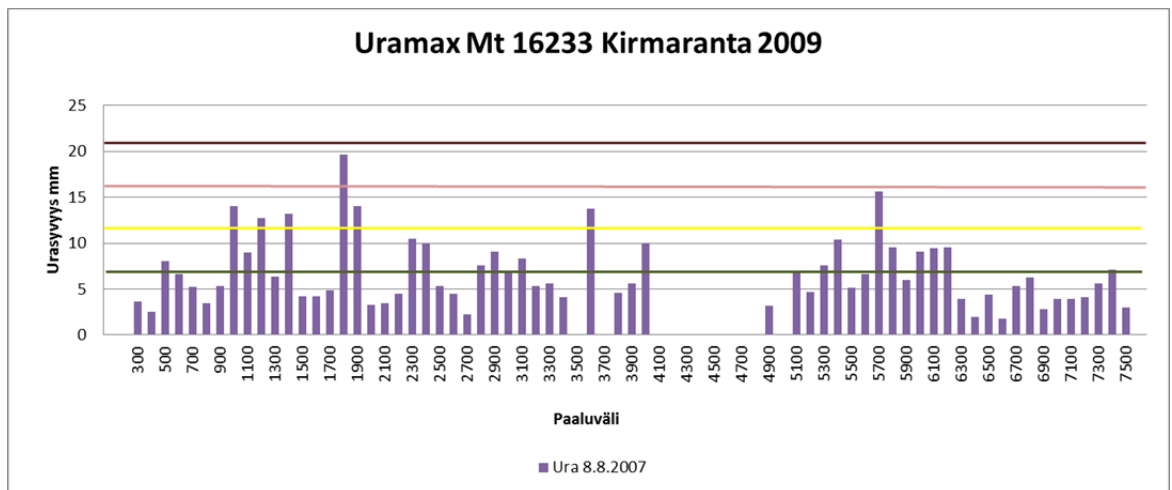
Kuva 86. Tienkäyttäjän vauriosumma Kirmaranta.



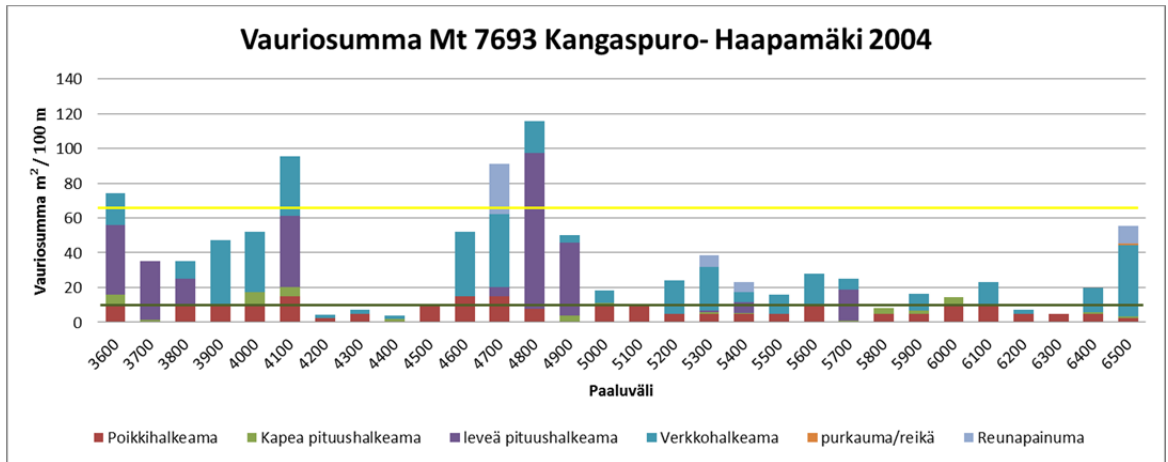
Kuva 87. Tasaisuus Kirmaranta.



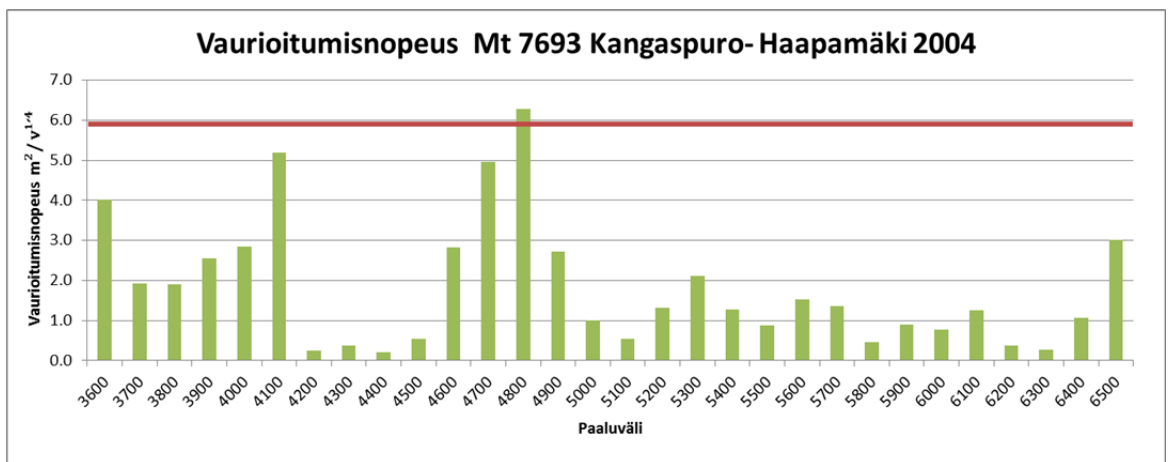
Kuva 88. Harjanteen korkeus Kirmaranta.



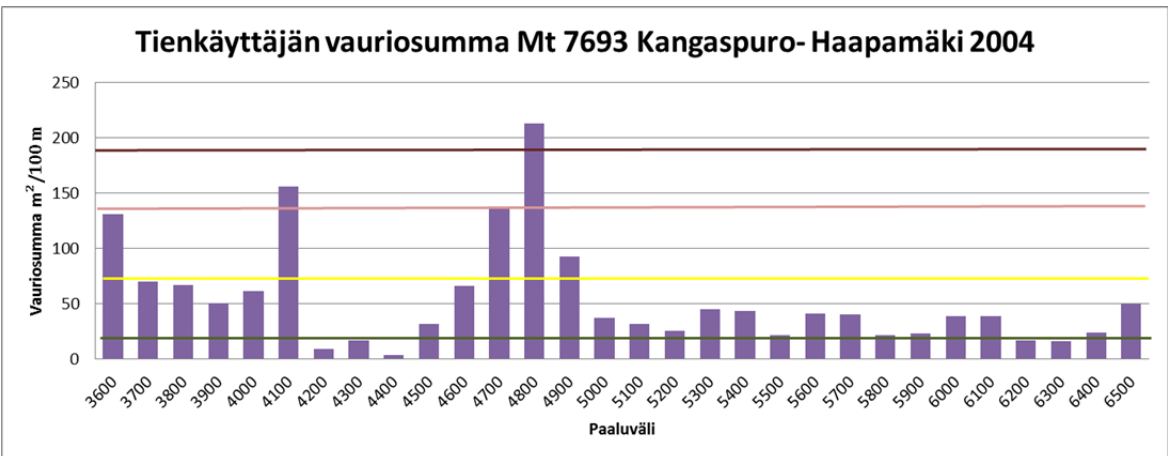
Kuva 89. Uramax Kirmaranta



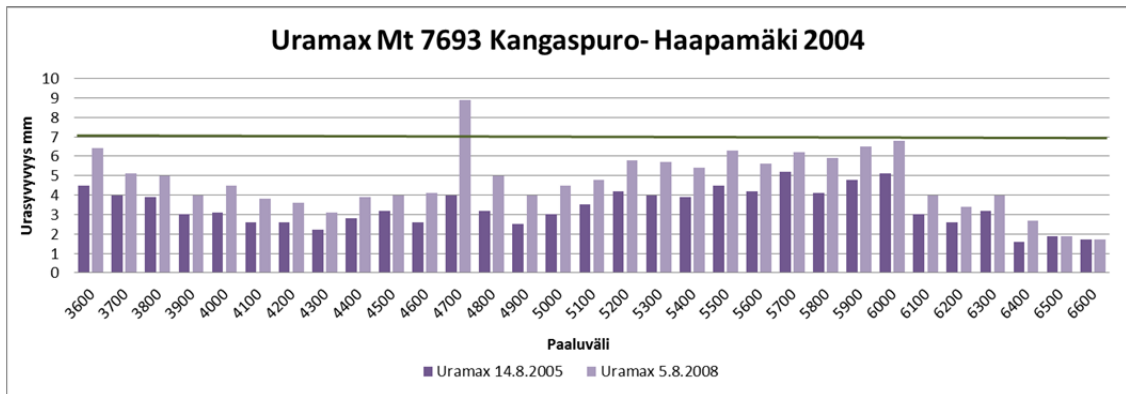
Kuva 90. Vauriosumma Kangaspuro -Haapamäki.



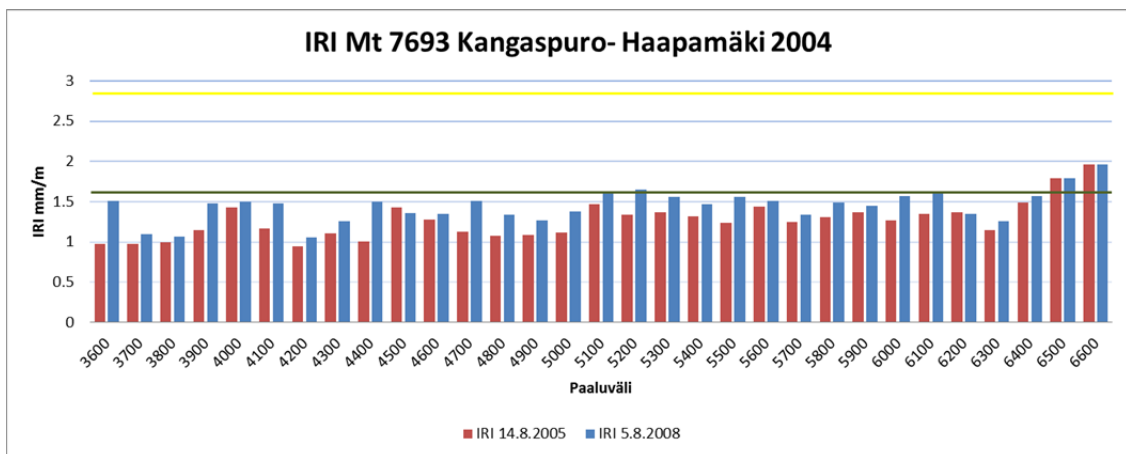
Kuva 91. Vaurioitumisnopeus Kangaspuro -Haapamäki.



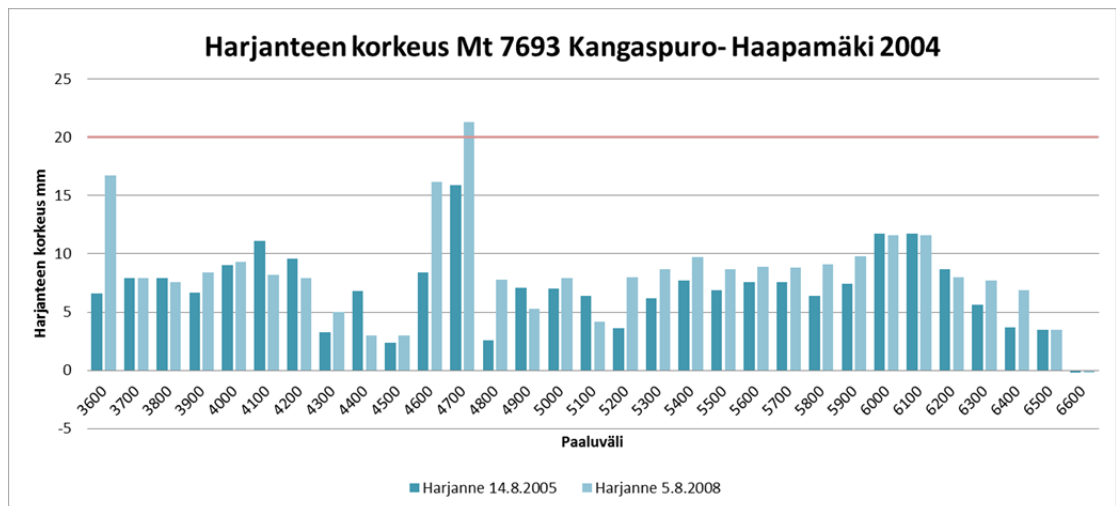
Kuva 92. Tienkäyttäjän vauriosumma Kangaspuro -Haapamäki.



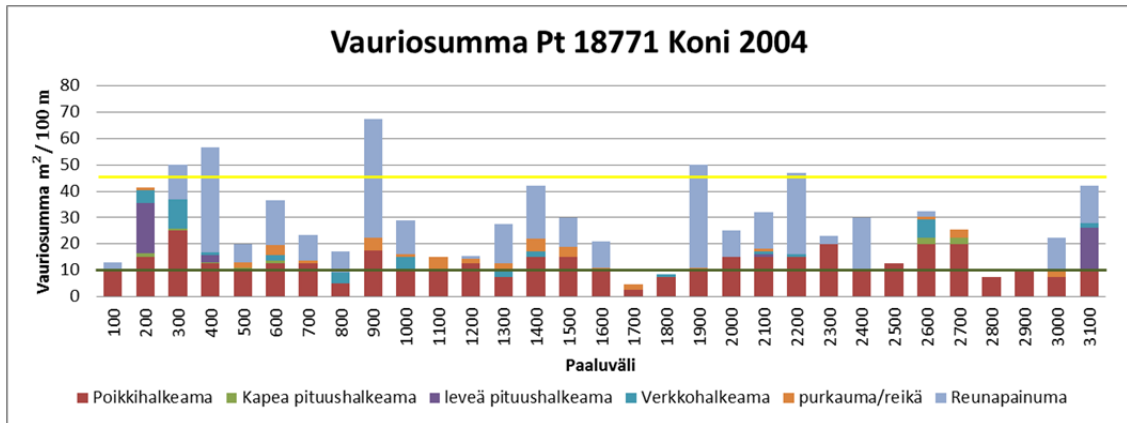
Kuva 93. Urasyyvyys Kangaspuro -Haapamäki.



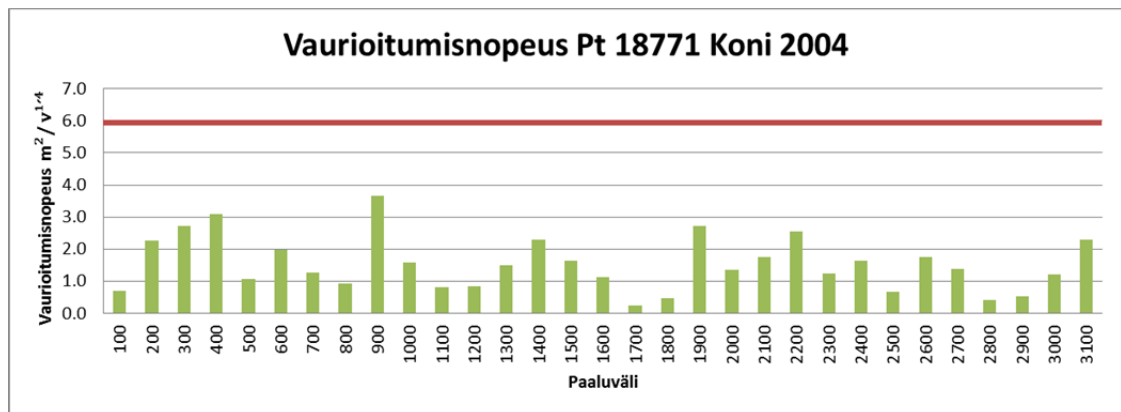
Kuva 94. Tasaisuus Kangaspuro -Haapamäki.



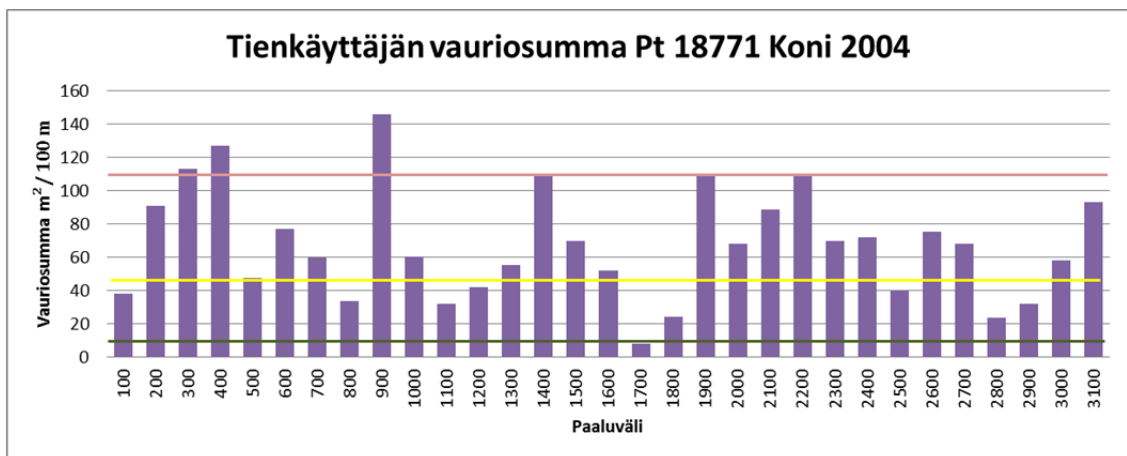
Kuva 95. Harjanteen korkeus Kangaspuro -Haapamäki.



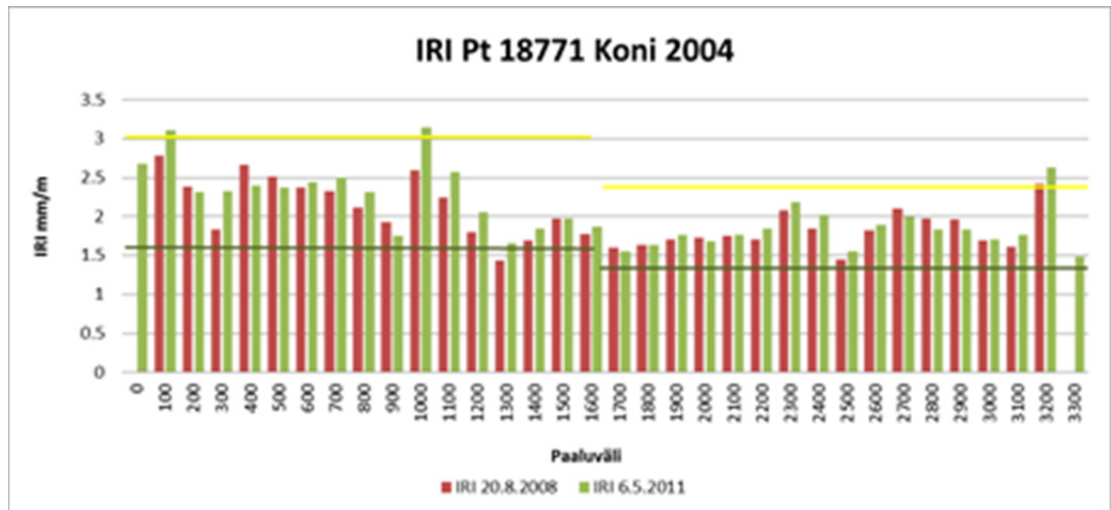
Kuva 96. Vauriosumma Koni.



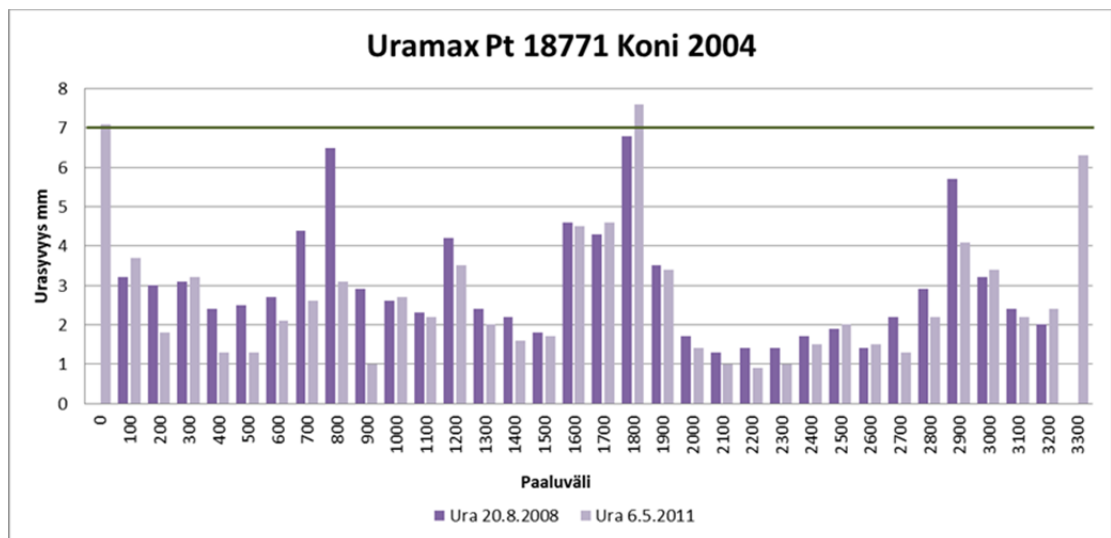
Kuva 97. Vaurioitumisnopeus Koni.



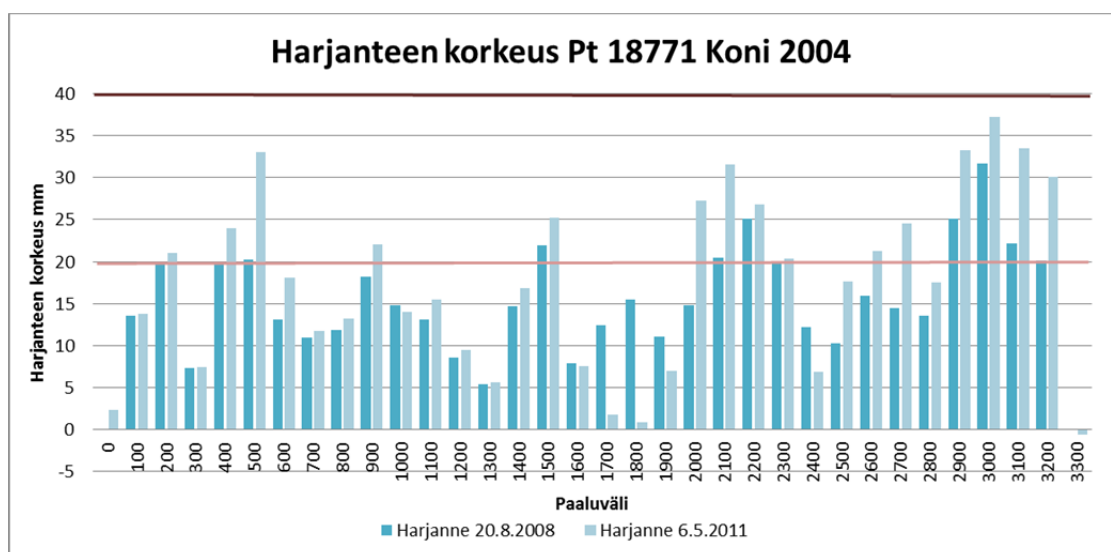
Kuva 98. Tienkäyttäjän vauriosumma Koni.



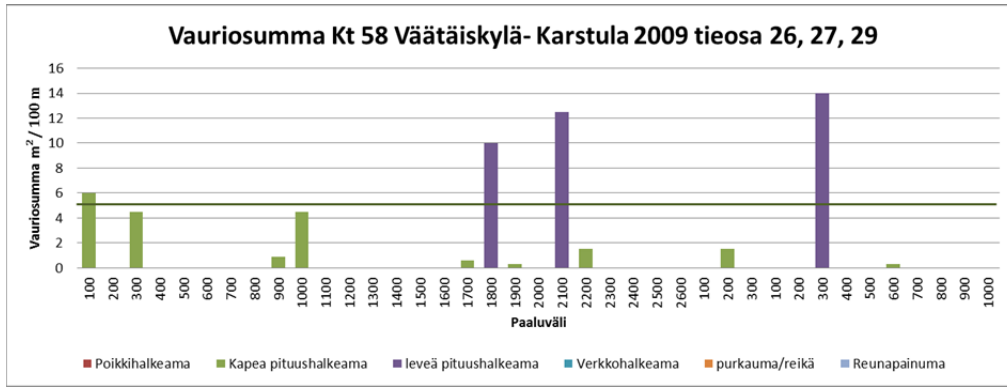
Kuva 99. Tasaisuus Koni.



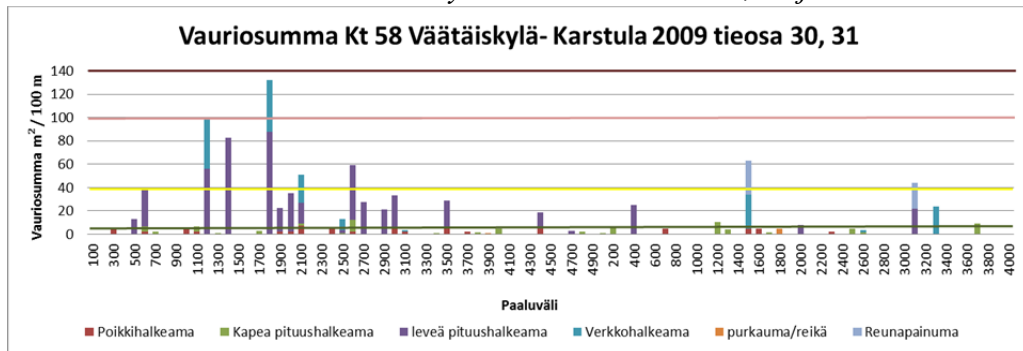
Kuva 100. Urasyyvyys Koni.



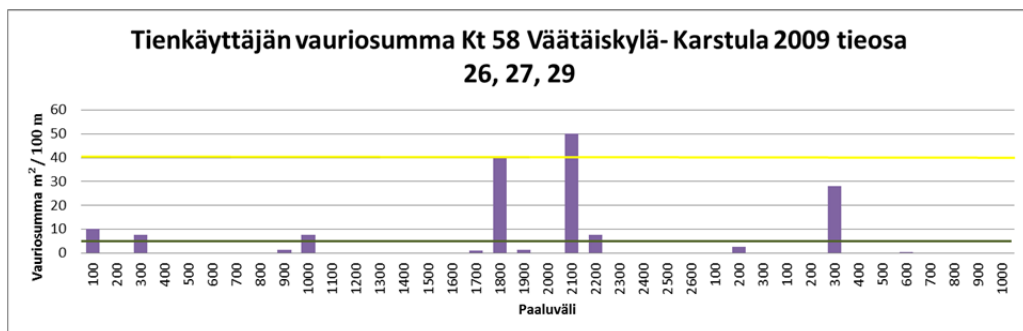
Kuva 101. Harjanteen korkeus Koni.



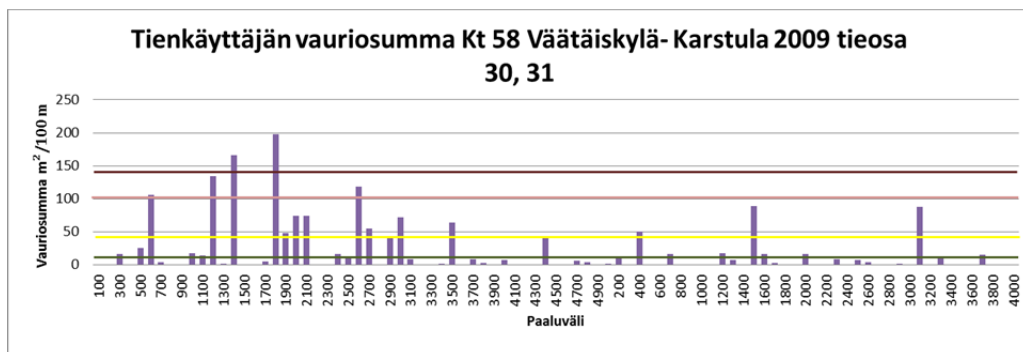
Kuva 102. Vauriosumma Väätsäskylä -Karstula tieosa 26, 27 ja 29.



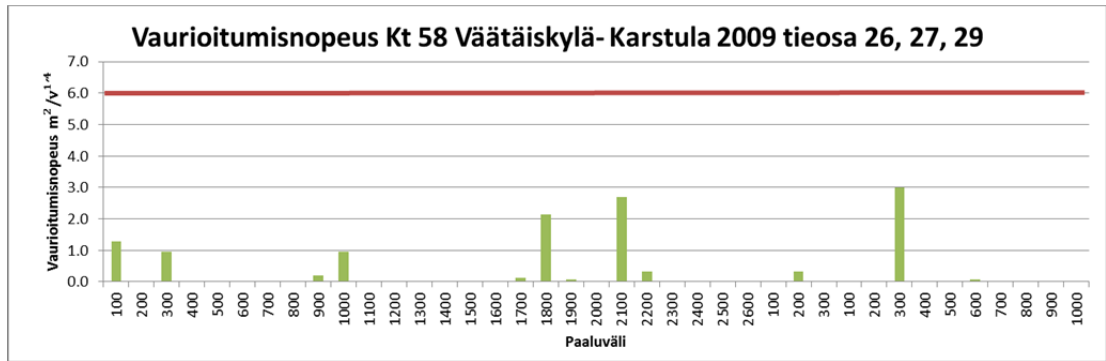
Kuva 103. Vauriosumma Väätsäskylä -Karstula tieosa 30 ja 31.



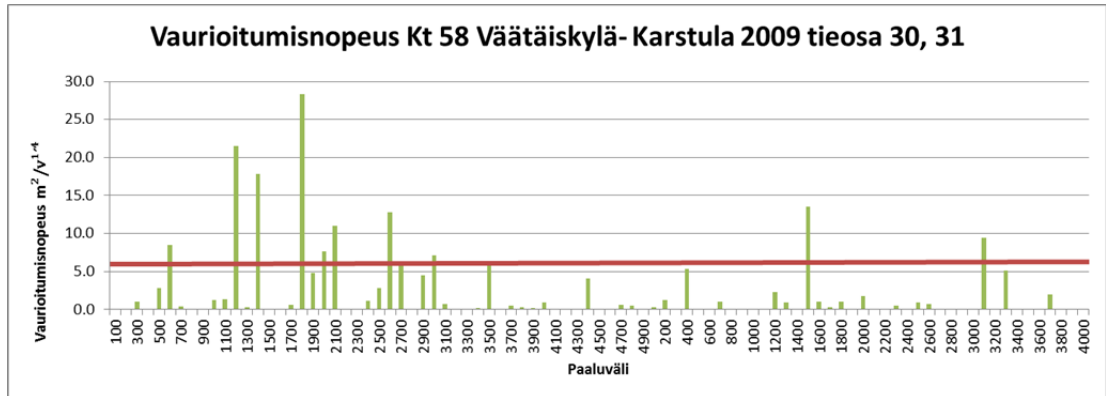
Kuva 104. Tienkäyttäjän vauriosumma Väätsäskylä -Karstula tieosa 26, 27 ja 29.



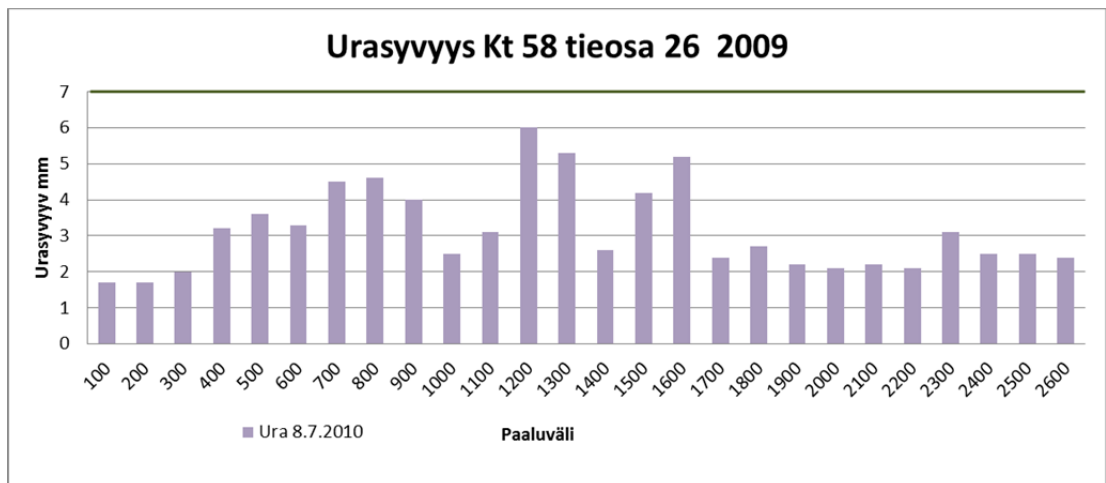
Kuva 105. Tienkäyttäjän vauriosumma Väätsäskylä -Karstula tieosa 30 ja 31.



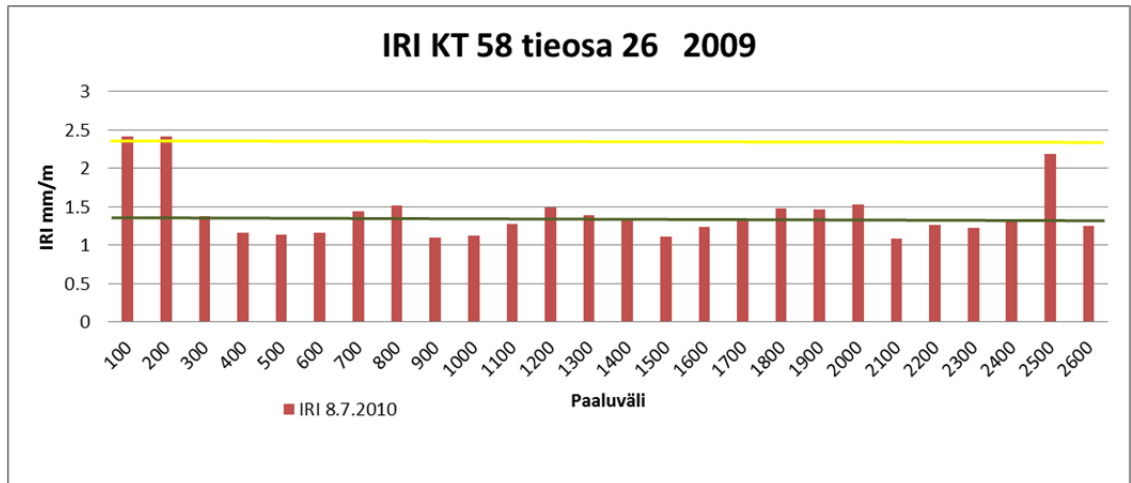
Kuva 106. Vaurioitumisnopeus Väätsäskylä -Karstula tieosa 26, 27 ja 29.



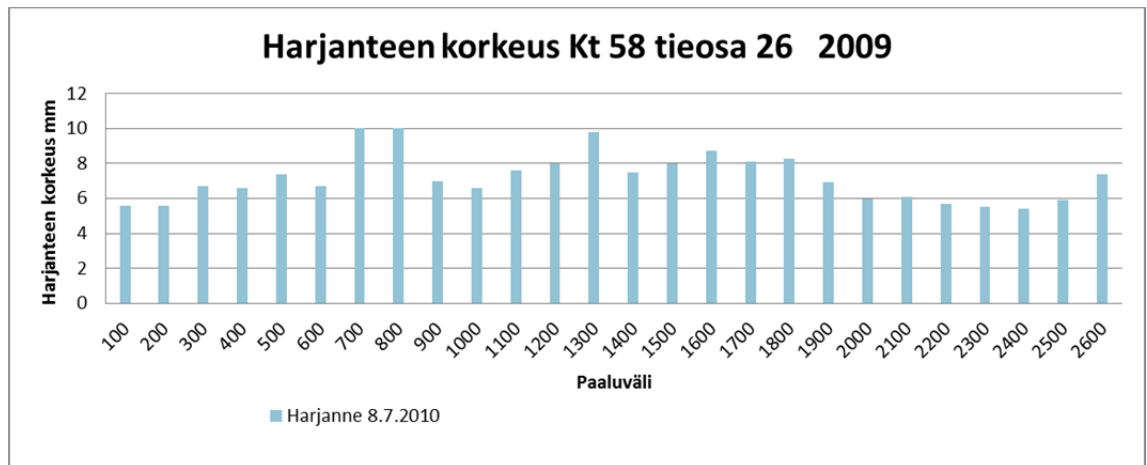
Kuva 107. Vaurioitumisnopeus Väätsäskylä -Karstula. tieosa 30 ja 31.



Kuva 108. Urasyyvyys Väätsäskylä -Karstula tieosa 26.

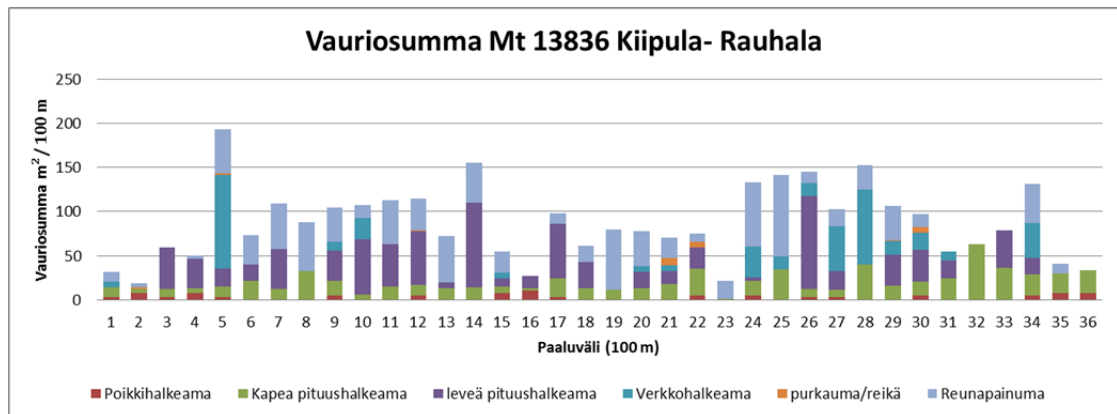


Kuva 109. Tasaisuus Väättäiskylä -Karstula tieosa 26.

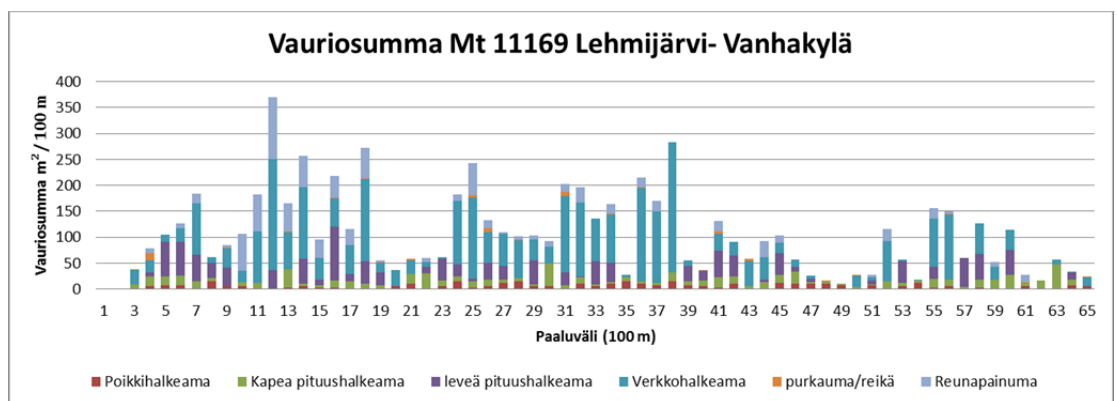


Kuva 110. Harjanteen korkeus Väättäiskylä -Karstula tieosa 26.

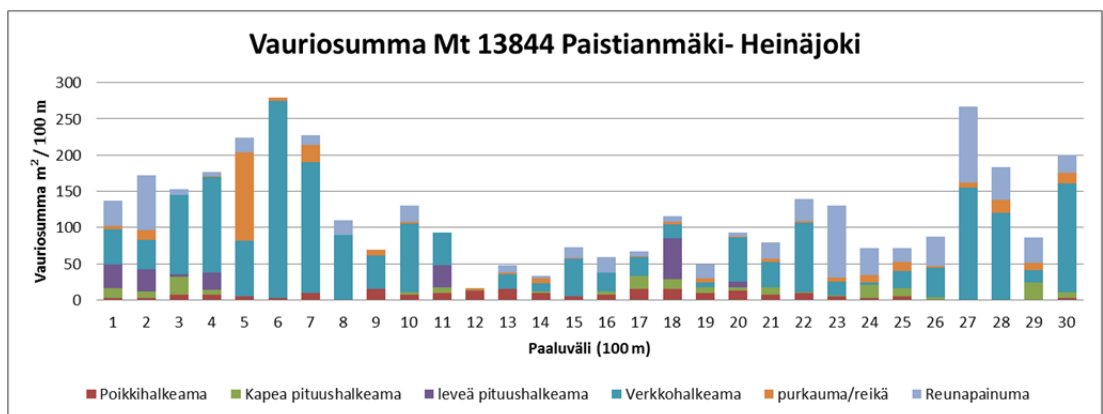
Uudenmaan ELY -keskuksen vuoden 2012 SJYR -kohteet



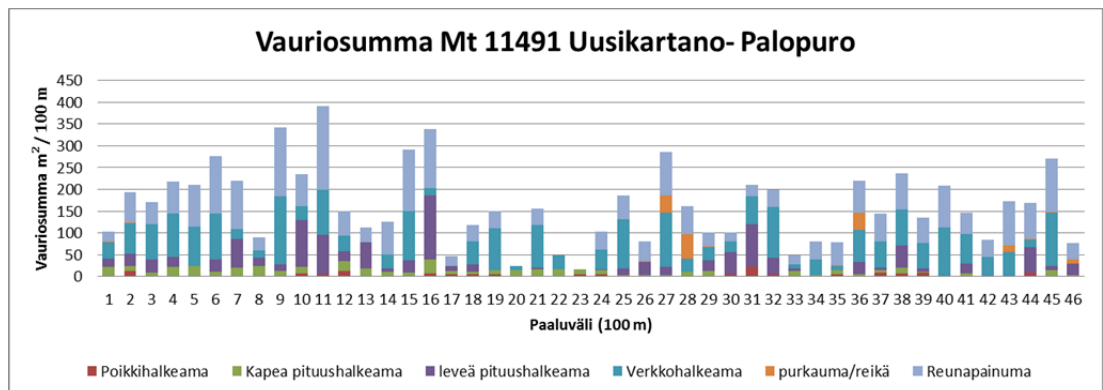
Kuva 111. Vauriosumma Kiipula -Rauhala.



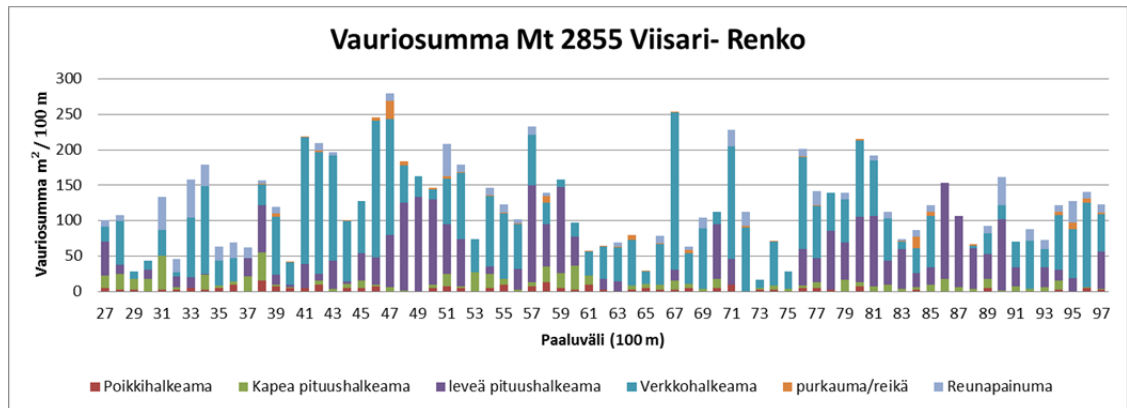
Kuva 112. Vauriosumma Lehmijärvi -Vanhakylä.



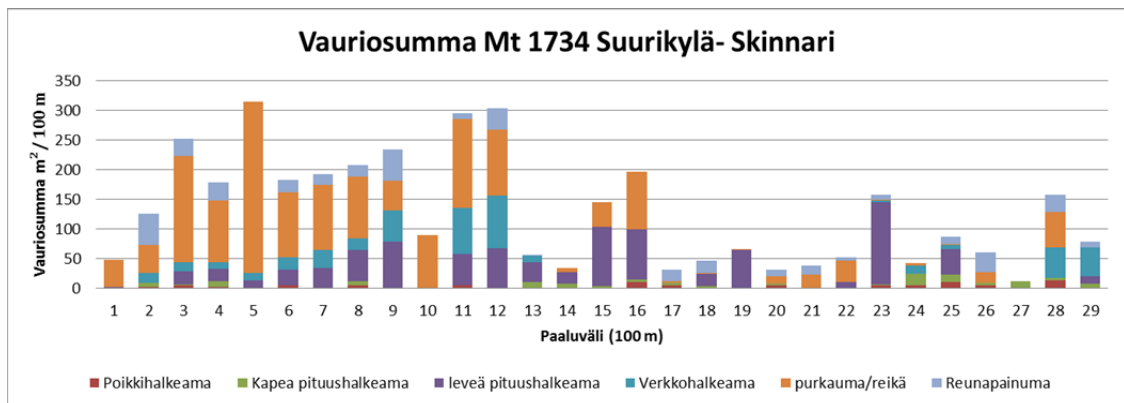
Kuva 113. Vauriosumma Paistianmäki -Heinäjoki.



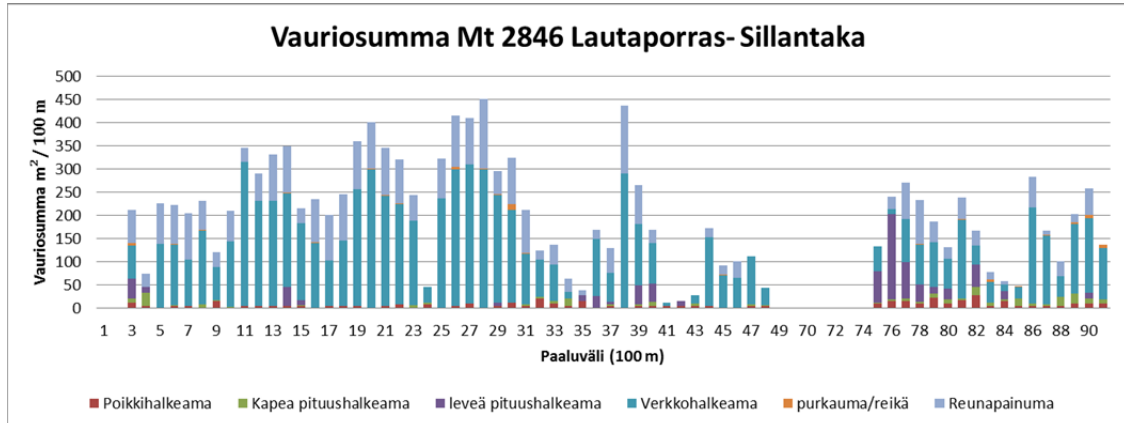
Kuva 114. Vauriosumma Uusikartano -Palopuro.



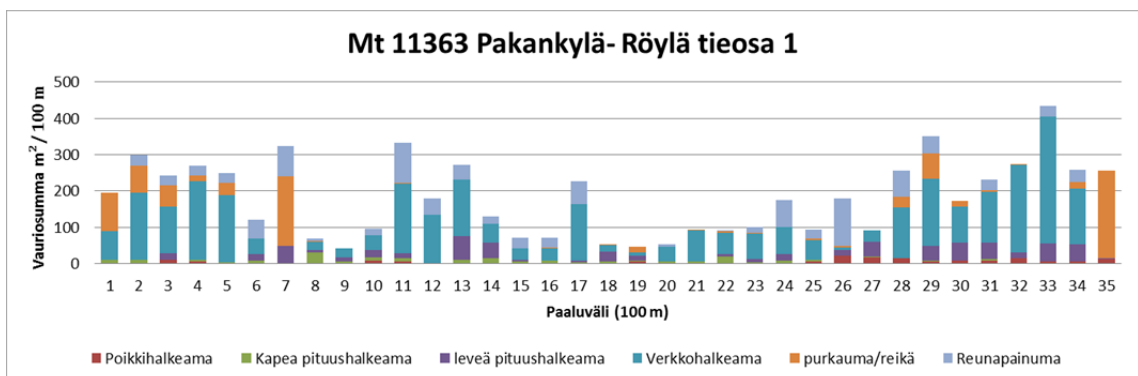
Kuva 115. Vauriosumma Viisari -Renko.



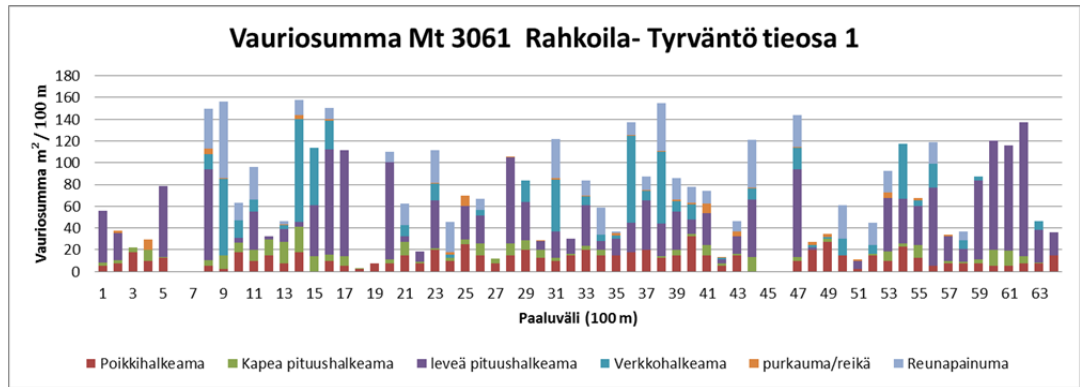
Kuva 116. Vauriosumma Suurikylä -Skinnari.



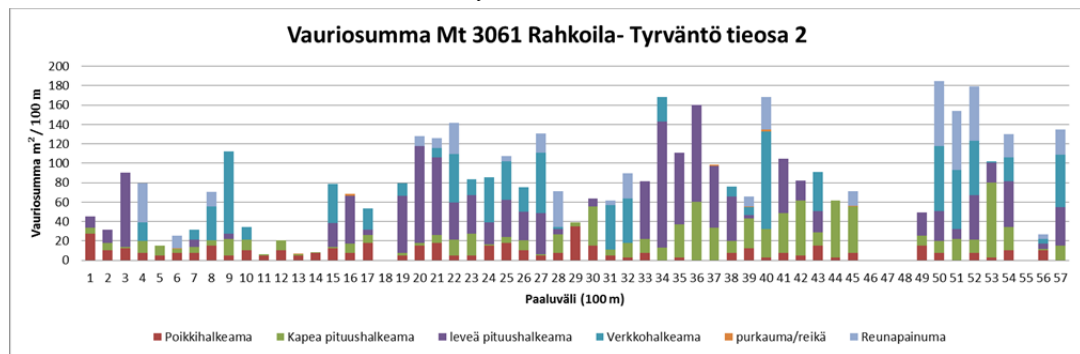
Kuva 117. Vauriosumma Lautaporras -Sillantaka.



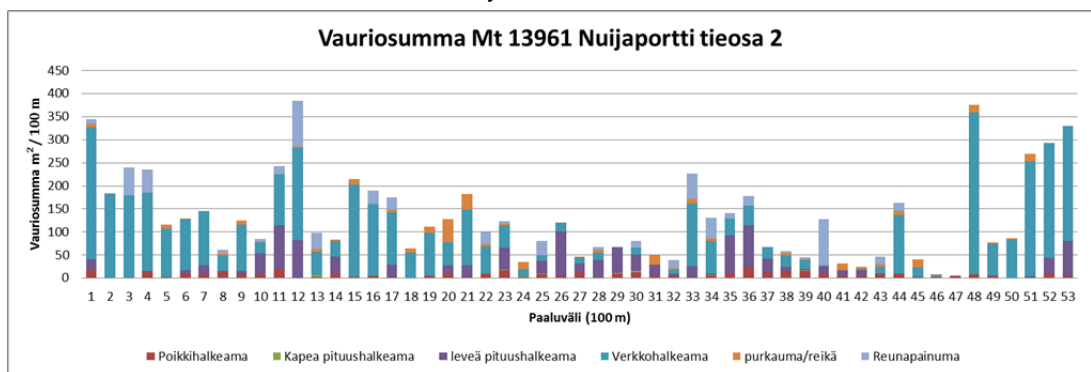
Kuva 118. Vauriosumma Pakankylä -Röylä.



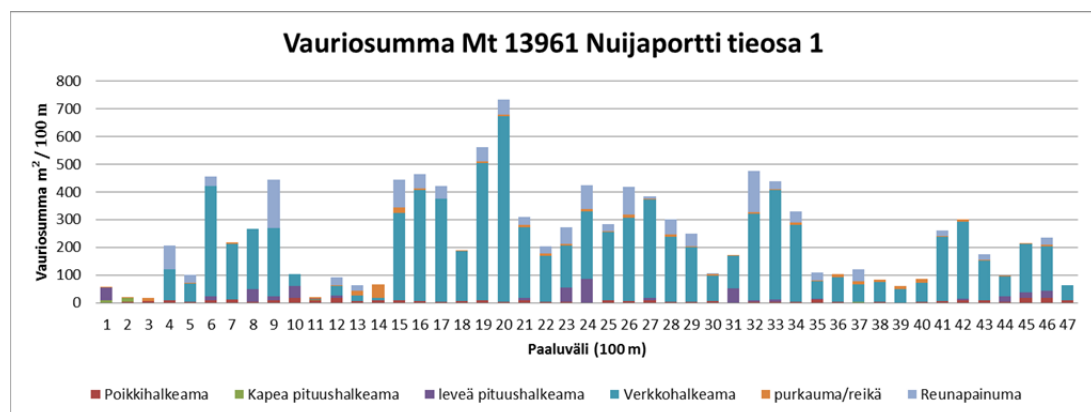
Kuva 119. Vauriosumma Rahkoila –Tyrvöntö tieosa 1.



Kuva 120. Vauriosumma Rahkoila –Tyrvöntö tieosa 2.



Kuva 121. Vauriosumma Nuijaportti tieosa 1.



Kuva 122. Vauriosumma Nuijaportti tieosa 2.

Liite C: Eri Rakenteenparantamistoimenpiteiden vaikutukseen tien kuntoon

Tiehallinnon tilastollinen aineisto erikoisrakenteiden vaikutuksesta tien kuntoon on julkaistu Tiehallinnon julkaisussa: Teräsverkkojen käyttö tierakenteiden koerakennuskoh-teissa.

Aineiston avulla on pyritty ennustamaan toimenpiteiden vaikutusta alkuperäisen kuntomuuttujan kasvunopeuteen. Taulukoissa on esitetty TP2-toimenpiteen jälkeinen kuntomuuttujan kasvunopeus edeltävän kasvunopeuden (TP1 jälkeen) ja toimenpiteen TP2 rankkuuden perusteella. (Tiehallinto 2003b.)

Taulukko 52. Eri parantamistoimenpiteiden vaikutukset vaurioitumiseen PAB -teillä, kun vaurioitumisnopeus on yli $3,0 \text{ m}^2/\text{v}^{1,4}$ ja ei leveitä pituushalkeamia. (Tiehallinto 2003b)

Toimenpide	Pituus km	VSnopTP1 $\text{m}^2/\text{v}^{1,4}$	VSnopTP2 $\text{m}^2/\text{v}^{1,4}$	Vaikutuskertoimen
1 Laatta	42,5	8,0	3,3	0,26
2a Teräsverkko + laattaa	0,4	6,9	4,0	0,33
2b Teräsverkko+ laattaa, raskaampi Tp	0,7	4,3	1,4	0,15
3 Sekoitusjyrsintä	0,1	3,1	10,3	1,27
4 Raskas RP	48,2	7,2	1,6	0,13
5 Masuuni, sementtistabilointi	22,1	5,5	2,9	0,28
6 Bitumistabilointi	0,8	7,3	0,7	0,06
7 Kuonastabilointi	0,2	6,9	10,0	0,84
8 Muu erikoisrakenne	0,6	3,4	2,0	0,23

Taulukko 53. Eri parantamistoimenpiteiden vaikutukset tasaisuuteen PAB -teillä, kun IRInopeus on alle 0,8. (Tiehallinto 2003b)

Toimenpide	Pituus km	IRInopTP1 mm/m/v	IRInopTP2 mm/m/v	IRInop suhde (TP2/TP1)
1 Laatta	143,10	0,00	0,06	0,00
2a Teräsverkko + laattaa	3,30	0,05	0,05	1,00
2b Teräsverkko+ laattaa, raskaampi Tp	5,70	0,15	0,07	0,47
3 Sekoitusjyrsintä	4,00	0,12	0,04	0,33
4 Raskas RP	155,7	-0,01	0,04	-4,00
5 Masuuni, sementtistabilointi	72,1	0,08	0,07	0,88
6 Bitumistabilointi	1,90	0,12	0,03	0,25
7 Kuonastabilointi	0,30	0,30	0,06	0,20
8 Muu erikoisrakenne	2,80	0,26	0,11	0,42

Taulukko 54. Eri parantamistoimenpiteiden vaikutukset tasaisuuteen PAB -teillä, kun IRInopeus on enemmän kuin 0,8. (Tiehallinto 2003b)

Toimenpide	Pituus km	URAnopTP1 mm/v ^{0,2}	URAnopTP2 mm/v ^{0,2}	URAnop suhde (TP2/TP1)
1 Laatta	78,6	0,80	2,40	2,89
2a Teräsverkko + laattaa	1,8	1,00	1,30	1,25
2b Teräsverkko+ laattaa, raskaampi Tp	2,4	0,90	1,50	1,66
3 Sekoitusjyrsintä	1,1	1,20	2,40	2,07
4 Raskas RP	86,9	0,80	3,40	4,04
5 Masuuni, sementtistabilointi	22,7	1,00	2,10	2,18
6 Bitumistabilointi	1,3	1,00	1,70	1,63
8 Muu erikoisrakenne	1,2	1,10	5,00	4,48

Taulukko 55. Eri parantamistoimenpiteiden vaikutukset urautumiseen PAB -teillä, kun uranopeus on alle 2,0. (Tiehallinto 2003b)

Toimenpide	Pituus km	IRInopTP1 mm/m/v	IRInopTP2 mm/m/v	IRInop suhde (TP2/TP1)
1 Laatta	9,7	1,45	0,11	0,08
2a Teräsverkko + laattaa	0,3	1,07	0,13	0,12
2b Teräsverkko+ laattaa, raskaampi Tp	0,3	0,95	-0,15	-0,16
3 Sekoitusjyrsintä	0,1	1,50	-0,55	-0,37
4 Raskas RP	14,6	1,39	0,04	0,03
5 Masuuni, sementtistabilointi	3,4	1,07	0,09	0,08
7 Kuonastabilointi	0,1	0,90	-0,47	-0,52
8 Muu erikoisrakenne	0,3	0,90	0,11	0,12

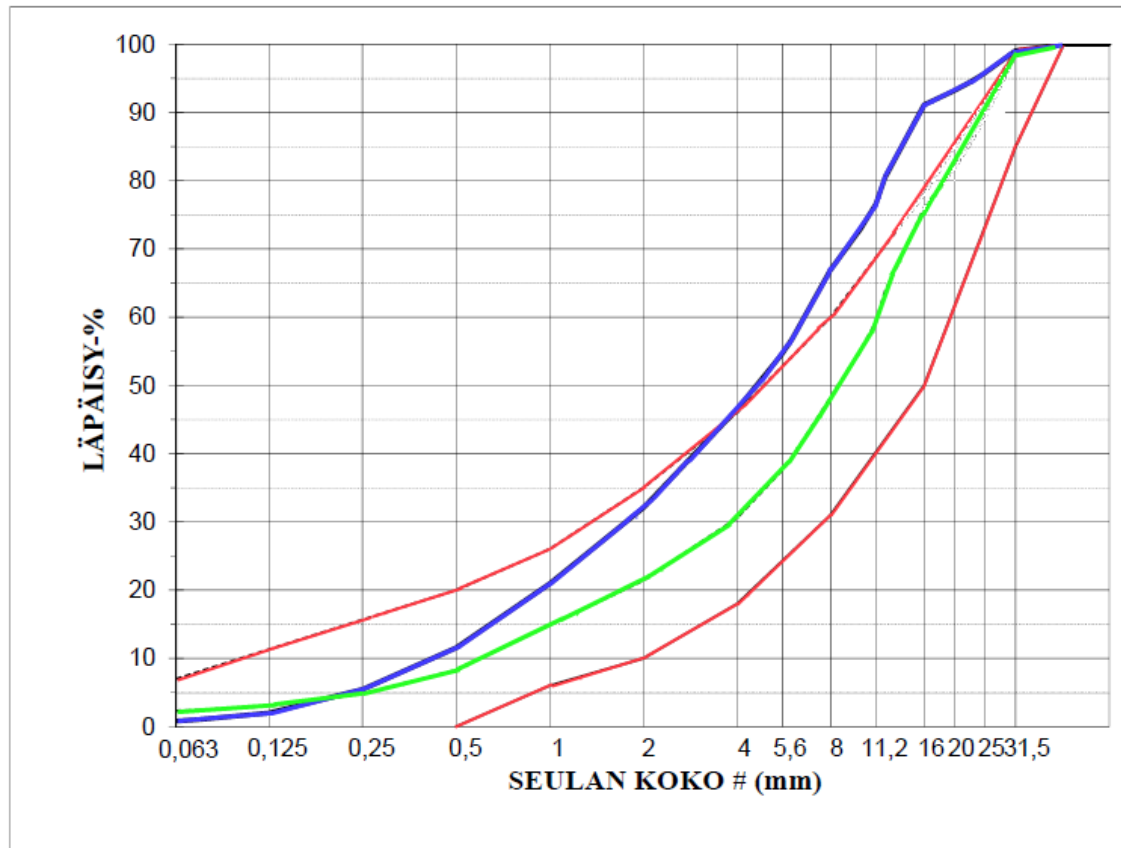
Taulukko 56. Eri parantamistoimenpiteiden vaikutukset urautumiseen PAB -tiellä, kun uranopeus on yli 2,0. (Tiehallinto 2003b)

Toimenpide	Pituus km	URAnopTP1 mm/v ^{0,2}	URAnopTP2 mm/v ^{0,2}	URAnop suhde (TP2/TP1)
1 Laatta	74,2	5,20	2,30	0,44
2a Teräsverkko + laattaa	1,8	5,40	1,20	0,22
2b Teräsverkko+ laattaa, raskaampi Tp	3,6	4,10	2,70	0,66
3 Sekoitusjyrsintä	3,0	4,10	2,90	0,69
4 Raskas RP	83,4	5,00	3,00	0,59
5 Masuuni, sementtistabilointi	52,8	5,20	1,60	0,31
6 Bitumistabilointi	0,6	7,50	0,80	0,11
7 Kuonastabilointi	0,4	5,00	1,10	0,22
8 Muu erikoisrakenne	1,9	6,70	7,10	1,05

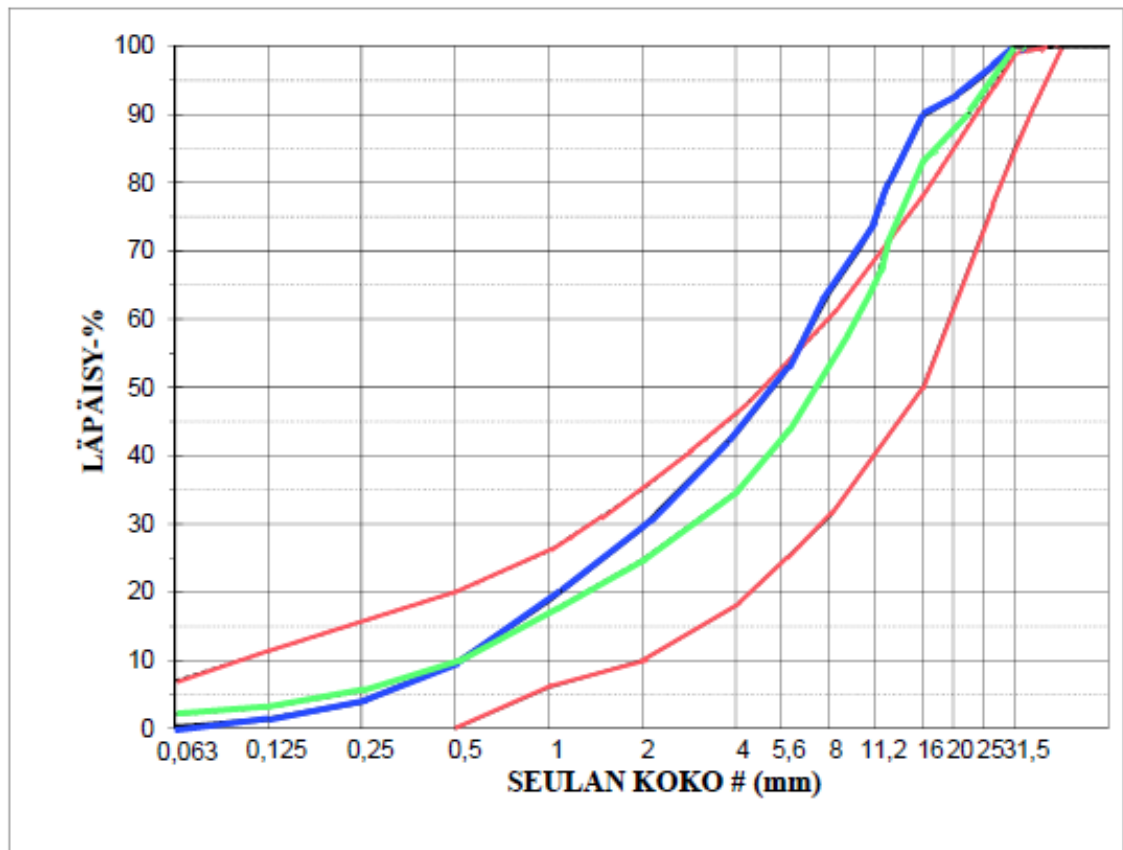
Liite D: Rakeisuudet

Taulukko 57. Mt 11363 PL 1095 Lisämurske 8/32.

Seula	Ennen SJYR kesk. (RAP%)	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea (RAP%)	SJYR jälkeen oikea (RAP%)	Muutos
0,063	0,8	2,3	1,5	0,3	2,1	1,8
0,125	2,0	3,0	1,0	1,4	3,1	1,7
0,25	5,4	4,8	-0,6	3,9	5,4	1,5
0,5	11,6	8,3	-3,3	9,5	9,7	0,2
1	20,9	14,9	-6,1	18,7	17,0	-1,8
2	32,1	21,4	-10,7	29,4	24,8	-4,7
4	46,5	30,5	-15,9	43,2	34,7	-8,5
8	66,9 (45,1)	48,2 (38,7)	-18,7	64,9 (32,2)	53,2 (33,9)	-10,8
16	91,1 (31,1)	76,0 (16,6)	-15,1	89,8 (20,7)	83,0 (28,2)	-6,8
31,5	99,1 (0)	98,5 (0)	-0,6	100,0 (0)	100,0 (0)	0,0
45	100 (0)	100 (0)	0,0	100,0 (0)	100,0 (0)	0,0



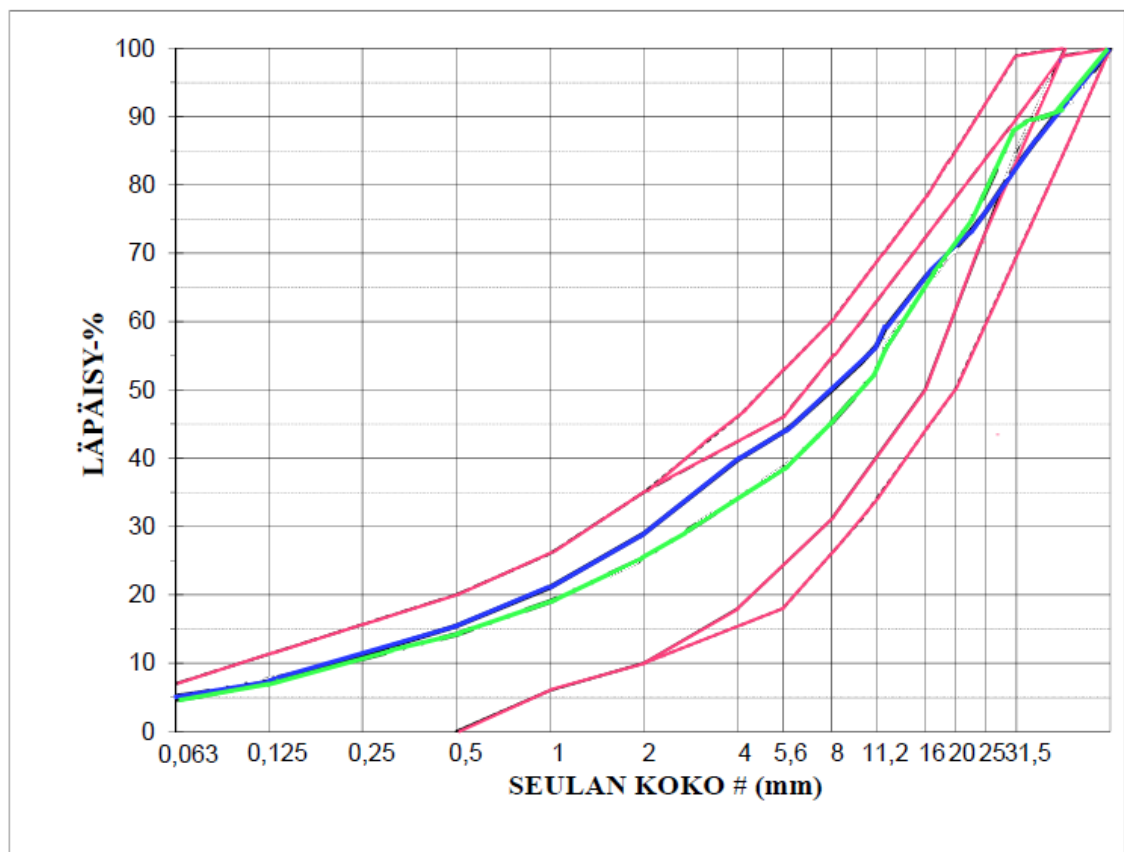
Kuva 123. Rakeisuus Mt 11363 kesk.



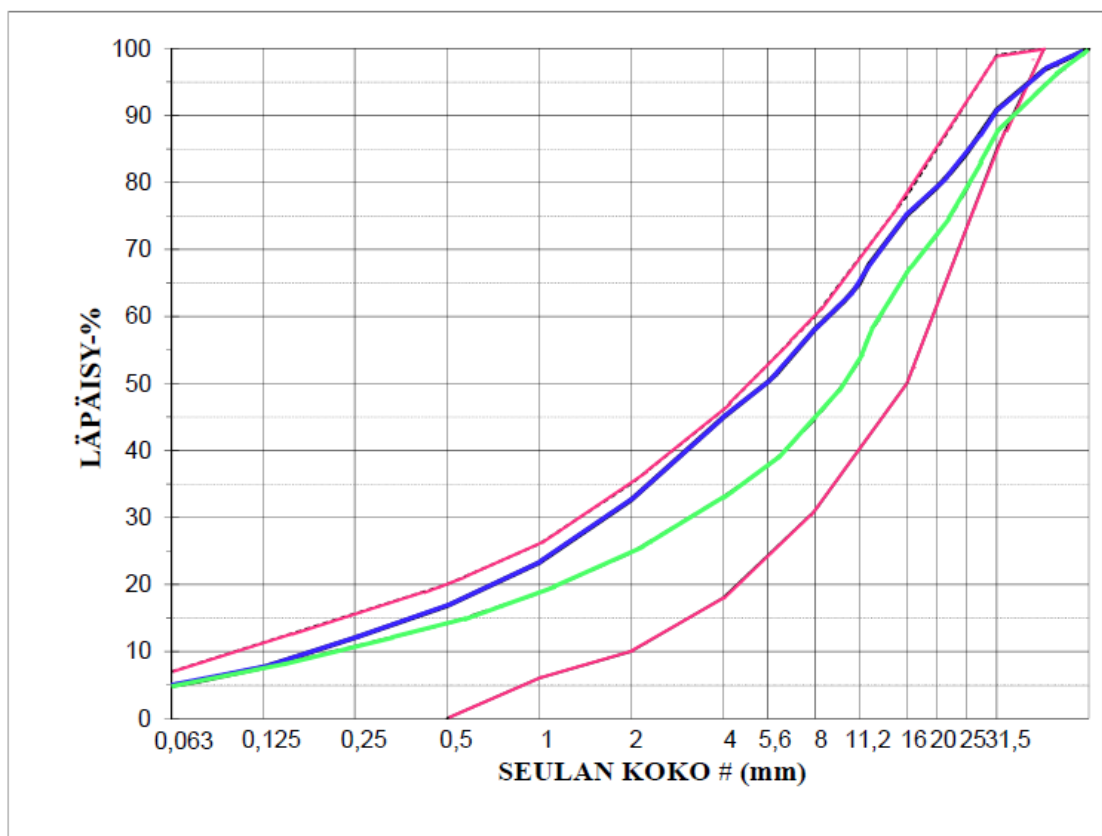
Kuva 124. Rakeisuus Mt 11363 oikea.

Taulukko 58. Mt 2846 Lisämurske 0/32, lisämurske ennen sekoitusjyrsintää.

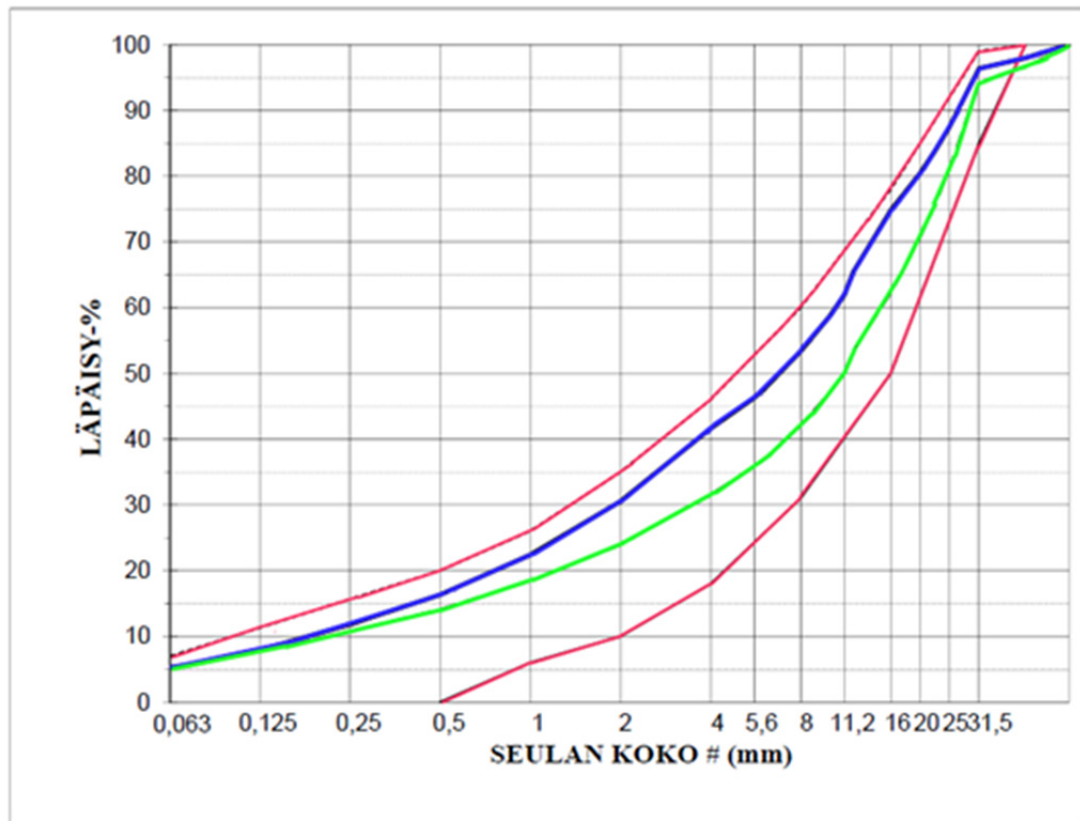
Seula	Ennen SJYR vasen 0/32 (RAP%)	SJYR jälkeen vasen 0/45 (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR kesk. 0/32 (RAP%)	SJYR jälkeen kesk. 0/32 (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea 0/32 (RAP%)	SJYR jälkeen oikea 0/32 (RAP%)	Muutos
0,063	4,7	5,2	0,5	5,3	5,4	0,1	5,0	4,8	-0,2
0,125	7,3	7,6	0,3	7,9	7,7	-0,2	7,6	7,5	-0,1
0,25	11,2	10,7	-0,5	11,8	10,8	-1,0	12,0	10,8	-1,2
0,5	15,5	14,2	-1,3	16,3	14,1	-2,2	16,8	14,1	-2,7
1	21,1	19,0	-2,1	22,4	18,4	-4,0	23,2	18,7	-4,5
2	28,9	25,3	-3,6	30,5	23,9	-6,6	32,6	24,7	-7,9
4	39,8	34,1	-5,7	41,6	31,6	-10,0	44,9	33,0	-11,9
8	49,9	45,1 (4,0)	-4,8	53,3	42,1 (3,3)	-11,2	58,1	44,6 (6,6)	-13,5
16	66,4	65,0 (8,8)	-1,4	74,9	62,3 (2,3)	-12,6	75,1	66,6 (8,0)	-8,5
31,5	82,8	88,8 (20,6)	6,0	96,4	94,3 (16,0)	-2,1	90,8	87,5 (0)	-3,3
45	92,0	90,9 (75,6)	-1,1	98,0	96,6 (0)	-1,4	96,8	94,6 (44,9)	-2,2



Kuva 125. Rakeisuus Mt 2846 pl 3700 vasen



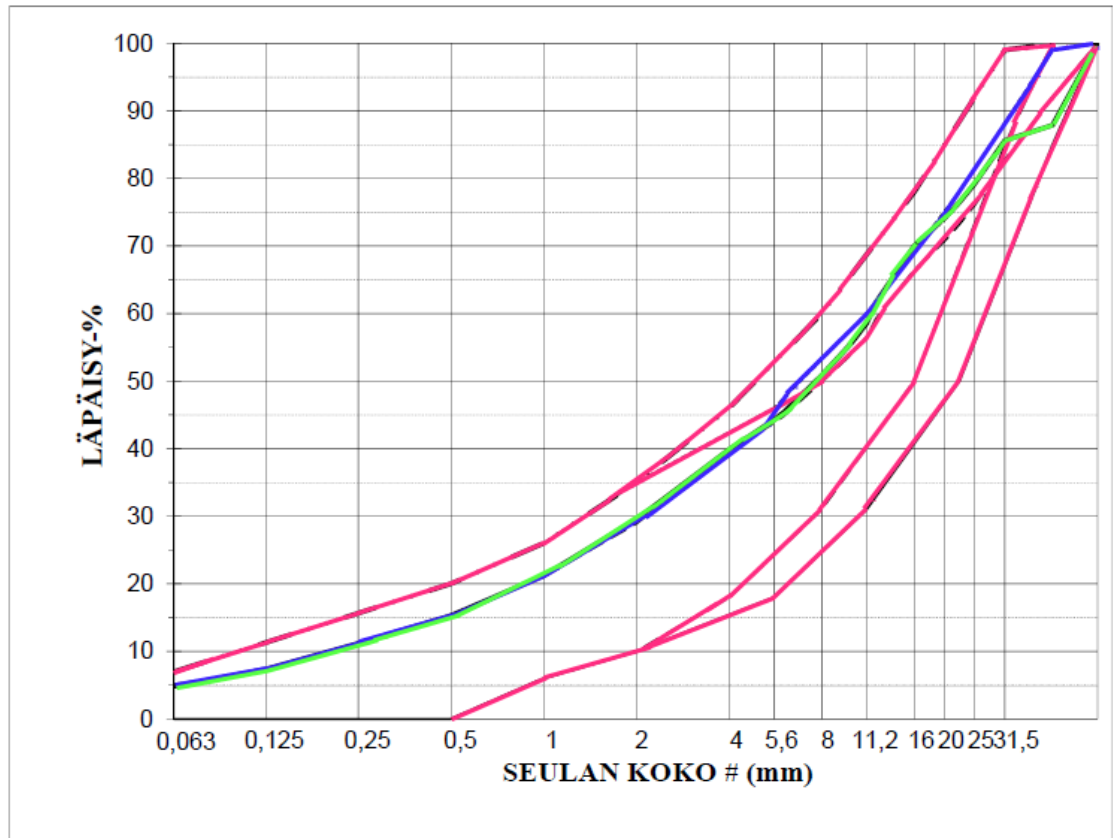
Kuva 126. Rakeisuus Mt 2846 Pl 3700 kesk.



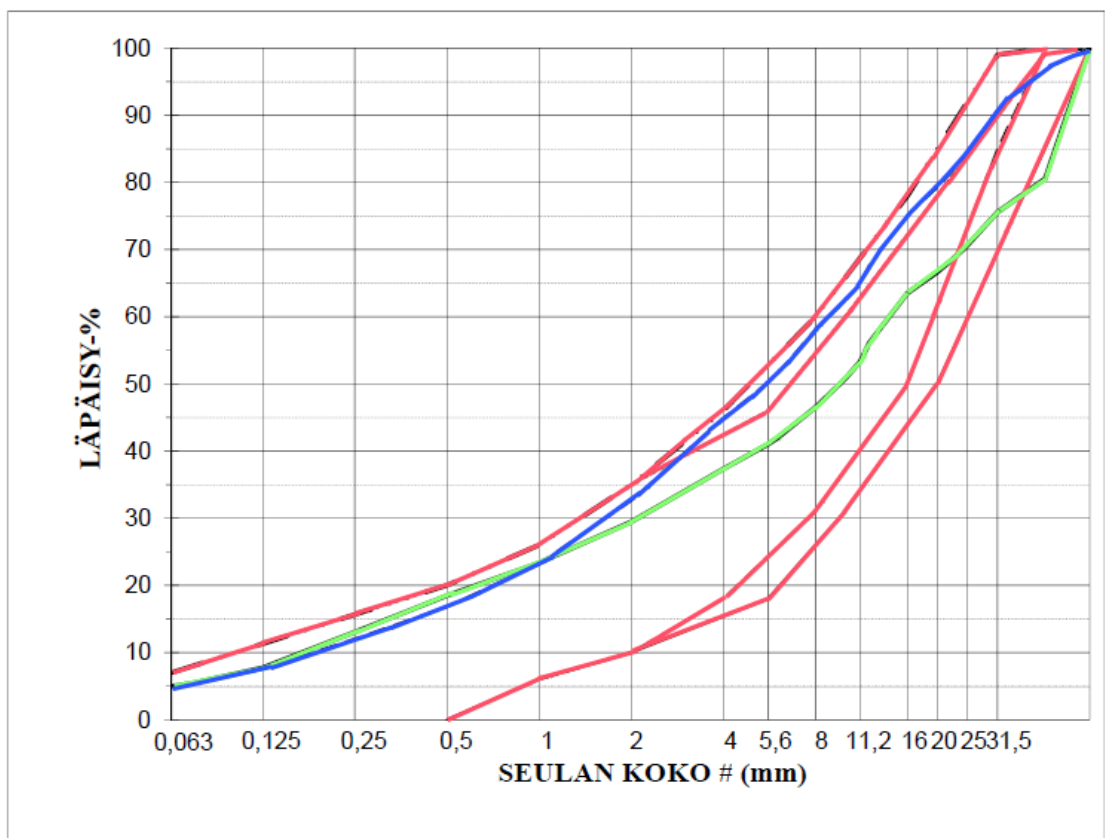
Kuva 127. Rakeisuus Mt 2846 pl 3700 oikea.

Taulukko 59. Mt 2846 Lisämurske 0/32, lisämurske sekoitusjyrsinnän jälkeen.

Seula	Ennen SJYR vasen 0/32	SJYR jälkeen vasen (RAP%) 0/45	Muutos	Ennen SJYR oikea 0/32	SJYR jälkeen oikea 0/45 (RAP%)	Muutos
0,063	4,7	4,9	0,2	5,0	5,0	0,0
0,125	7,3	7,3	0,0	7,6	7,7	0,1
0,25	11,2	11,2	0,0	12,0	13,1	1,1
0,5	15,5	15,3	-0,2	16,8	18,5	1,7
1	21,1	21,2	0,1	23,2	23,3	0,1
2	28,9	29,5	0,6	32,6	29,5	-3,1
4	39,8	39,9	0,1	44,9	37,3	-7,6
8	49,9	50,8 (7,9)	0,9	58,1	46,5 (23,3)	-11,6
16	66,4	70,0 (7,2)	3,6	75,1	63,5 (12,7)	-11,6
31,5	82,8	85,6 (0,0)	2,8	90,8	75,6 (56,3)	-15,2
45	92,0	87,9 (43,8)	-4,1	96,8	80,5 (52,3)	-16,3



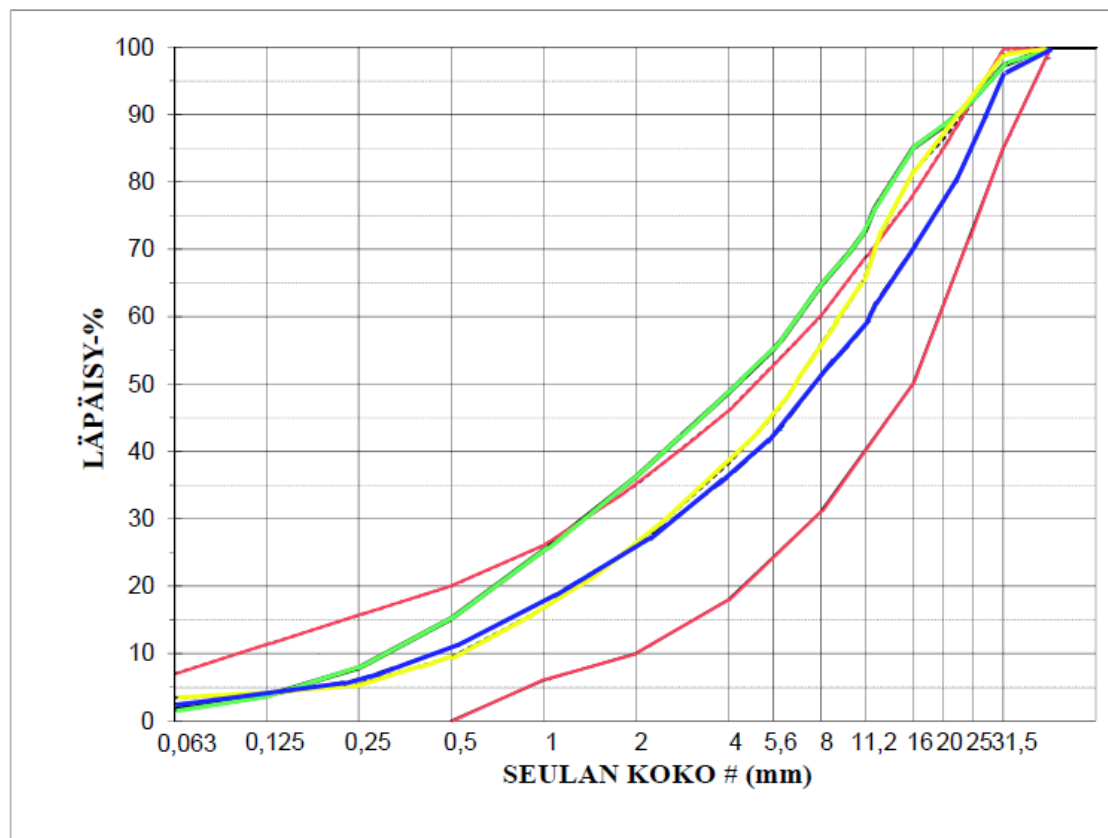
Kuva 128. Rakeisuus Mt 2846 vasen.



Kuva 129. Rakeisuus Mt 2846 oikea.

Taulukko 60. Mt 11491 SJYR 100 mm, lisämurske KaM 0/32 50 mm, pl 3000

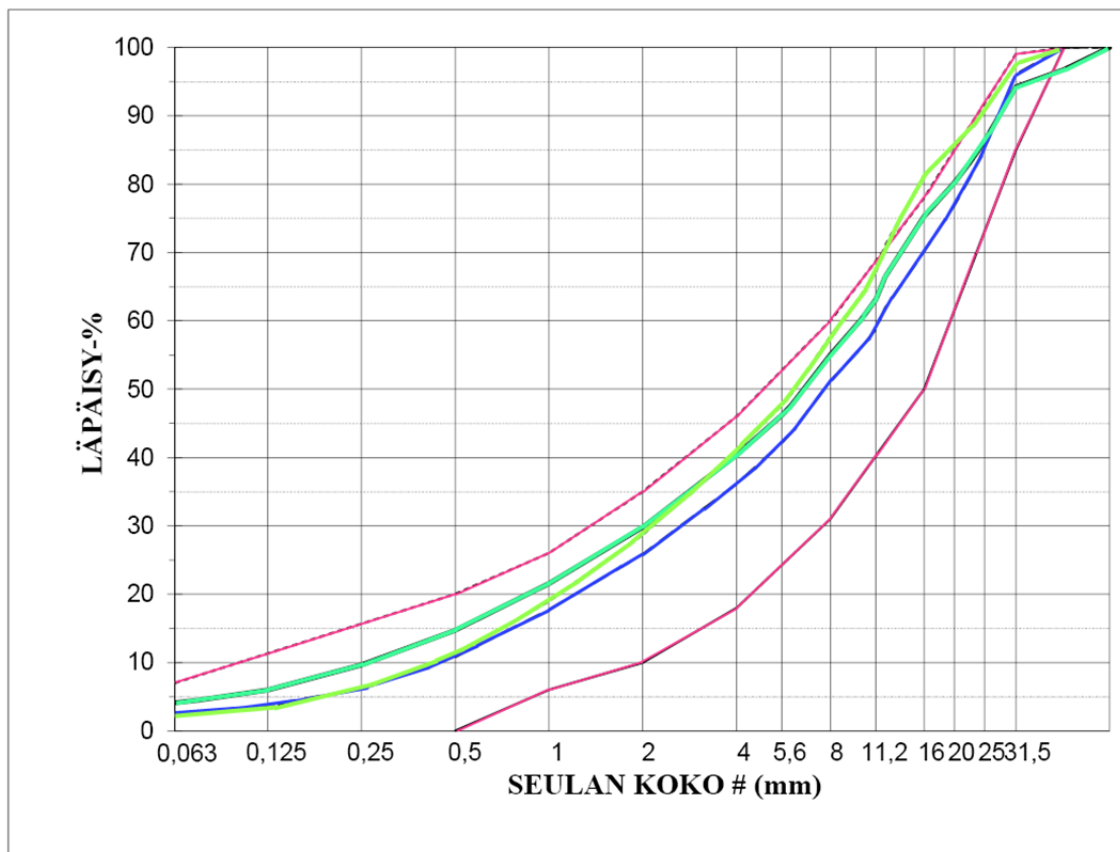
Seula	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen oikea (RAP%)	Muutos
0,063	2,5	3,4	0,9	2,5	1,8	-0,7
0,125	3,7	3,9	0,2	3,7	3,7	0,0
0,25	6,2	5,6	-0,6	6,2	7,8	1,6
0,5	10,8	9,5	-1,3	10,8	15,2	4,4
1	17,7	16,7	-1,0	17,7	25,3	7,6
2	25,8	26,0	0,2	25,8	36,2	10,4
4	36,1	38,1	2,0	36,1	48,7	12,6
8	51,2	55,8 (26,9)	4,6	51,2	64,6 (16,3)	13,4
16	70,2	81,5 (18,3)	11,3	70,2	85,0 (3,0)	14,8
31,5	96,1	99,7 (100,0)	3,6	96,1	97,3 (0,0)	1,2
45	100,0	100,0 (0,0)	0,0	100,0	100,0 (0,0)	0,0



Kuva 130. Rakeisuus Mt 11491 pl 3000.

Taulukko 61. Rakeisuus mt 11491 pl 3200.

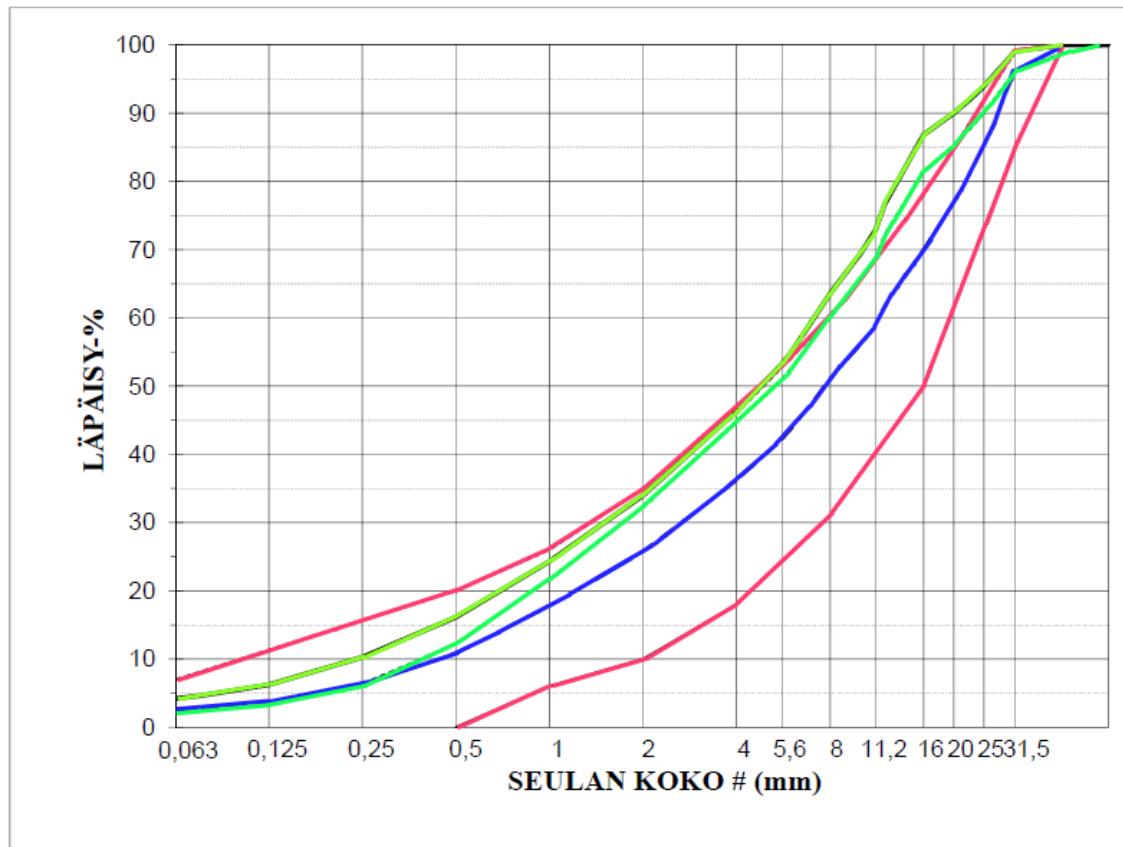
Seula	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen oikea (RAP%)	Muutos
0,063	2,5	2,4	-0,1	2,5	4,1	1,6
0,125	3,7	3,4	-0,3	3,7	6,0	2,3
0,25	6,2	6,2	0,0	6,2	9,6	3,4
0,5	10,8	11,1	0,3	10,8	14,7	3,9
1	17,7	19,0	1,3	17,7	21,6	3,9
2	25,8	28,7	2,9	25,8	29,8	4,0
4	36,1	41,1	5,0	36,1	40,4	4,3
8	51,2	57,7 (38,5)	6,5	51,2	55,0 (31,6)	3,8
16	70,2	81,3 (22,0)	11,1	70,2	75,3 (23,2)	5,1
31,5	96,1	97,6 (0,0)	1,5	96,1	94,2 (0,0)	-1,9
45	100,0	100,0 (0,0)	0,0	100,0	96,8 (100,0)	-3,2



Kuva 131. Rakeisuus Mt 11491 PL 3200.

Taulukko 62. Rakeisuus mt 11491 pl 4025.

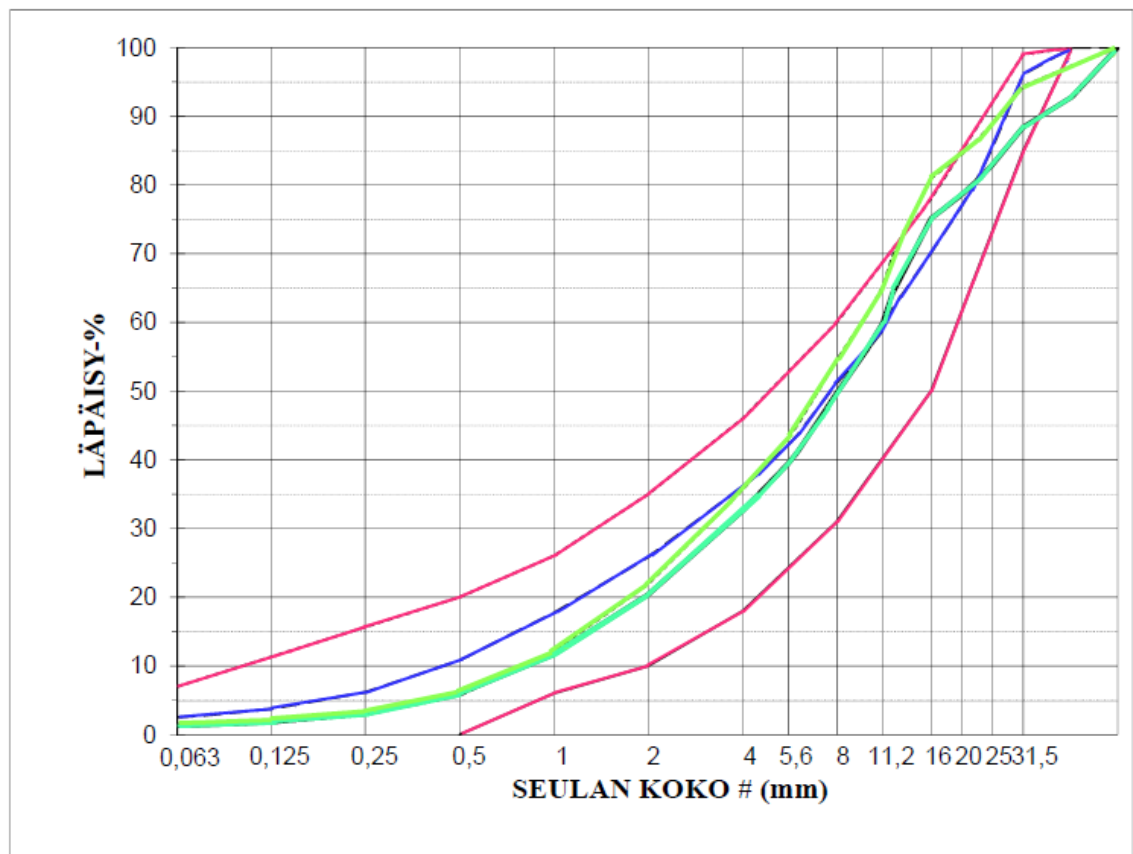
Seula	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen vasen (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos
0,063	2,5	2,1	-0,4	2,5	4,2	1,7
0,125	3,7	3,4	-0,3	3,7	6,2	2,5
0,25	6,2	6,3	0,1	6,2	10,2	4,0
0,5	10,8	12,2	1,4	10,8	16,1	5,3
1	17,7	21,7	4,0	17,7	24,3	6,6
2	25,8	32,3	6,5	25,8	34,0	8,2
4	36,1	44,8	8,7	36,1	46,3	10,2
8	51,2	60,3 (40,6)	9,1	51,2	63,5 (39,5)	12,3
16	70,2	81,5 (19,2)	11,3	70,2	86,8 (18,8)	16,6
31,5	96,1	96,2 (0,0)	0,1	96,1	99,1 (61,5)	3,0
45	100,0	98,8 (100,0)	-1,2	100,0	100,0 (0,0)	0,0



Kuva 132. Rakeisuus mt 11491 pl 4025.

Taulukko 63. Rakeisuus mt 11491 PL 4600.

Seula	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen kesk. (RAP%)	Muutos	Ennen SJYR oikea kallio	SJYR jälkeen oikea (RAP%)	Muutos
0,063	2,5	1,3	-1,2	2,5	1,3	-1,2
0,125	3,7	1,7	-2,0	3,7	1,8	-1,9
0,25	6,2	2,9	-3,3	6,2	3,2	-3,0
0,5	10,8	5,7	-5,1	10,8	6,0	-4,8
1	17,7	12,1	-5,6	17,7	11,7	-6,0
2	25,8	21,9	-3,9	25,8	20,4	-5,4
4	36,1	35,7	-0,4	36,1	32,6	-3,5
8	51,2	54,5 (39,7)	3,3	51,2	49,7 (39,7)	-1,5
16	70,2	81,0 (25,4)	10,8	70,2	75,1 (36,9)	4,9
31,5	96,1	94,3 (42,1)	-1,8	96,1	88,4 (25,5)	-7,7
45	100,0	97,4 (100,0)	-2,6	100,0	92,8 (36,2)	-7,2



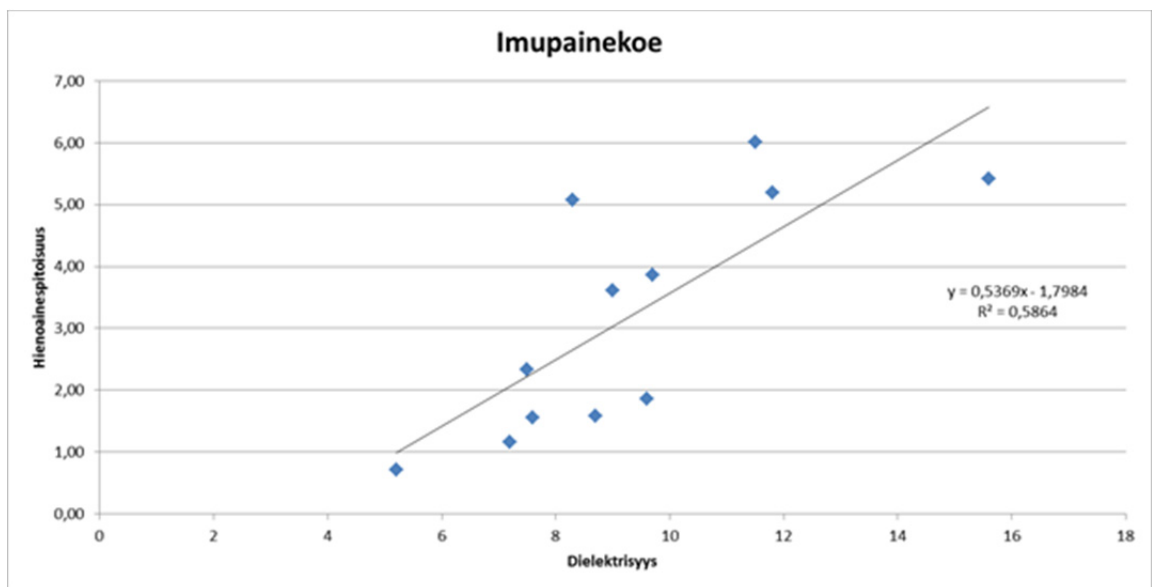
Kuva 133. Rakeisuus mt 11494 PL 4600.

Liite E: Imupainekokeen tuloksia

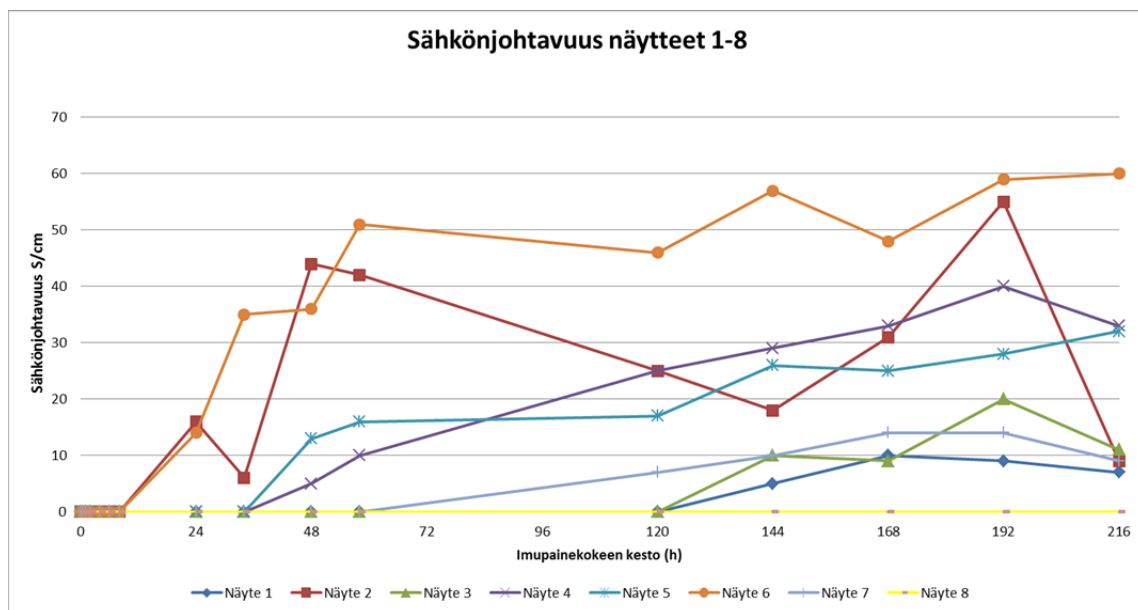
Taulukossa 64 on esitetty imupainekokeiden näytteiden tiedot. Kuvassa 134 on hienoainespitoisuuden vaikutus näytteiden dielektrisyteen. Hienoainespitoisuuden kasvaessa myös dielektrisyys kasvoi. Tulokset näytteiden sähkönjohtavuudesta ovat kuvissa 135-136.

Taulukko 64. Imupainekokeiden näytteiden tiedot.

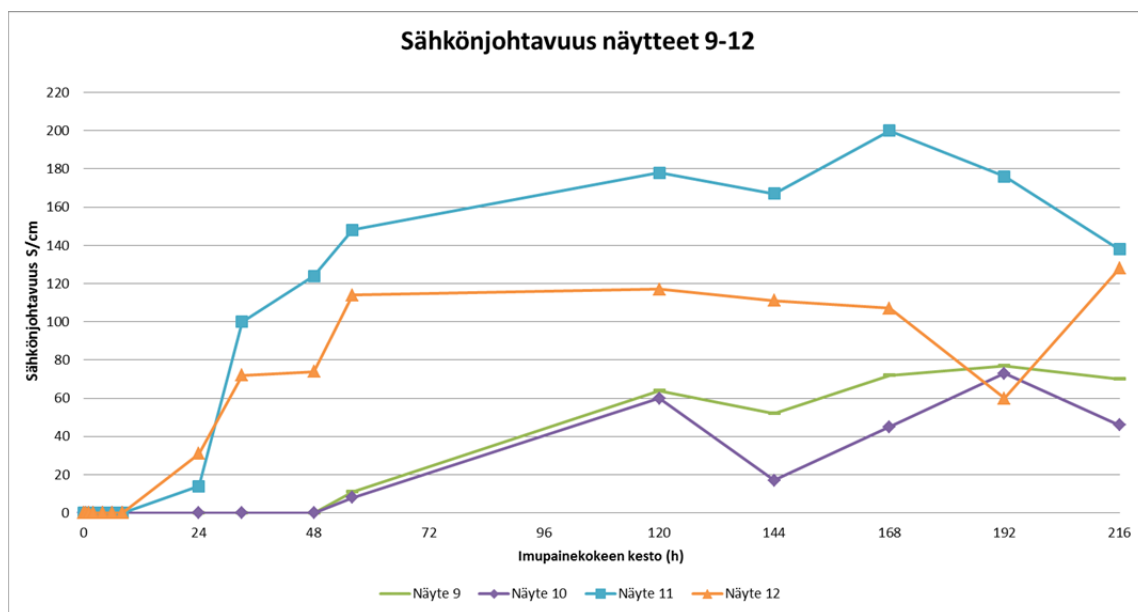
Näyte	Tie	Sekoitusjyrsintä- syvyys / lisämurske paksuus mm	Laskennallinen vesipitoisuus %	Näytteen korkeus mm	Paino ennen koetta g	Tiheys kg/m ³
1	Mt 11491	150 / 50	3,5	188	7302,2	2198
2	Mt 13844	300 / 100	3,5	212	8205,3	2191
3	Mt 11491	100 / 50	3,0	194	7524,8	2195
4	Mt 11491	200 / 50	3,0	214	8395,1	2220
5	Mt 11491	200 / 50	4,0	191	7637,3	2263
6	Mt 2846	200 / ei LM	3,1	197	7592,9	2182
7	Mt 11491	200 / 100	3,0	202	7950,1	2228
8	Mt 11491	150 / ei LM	3,0	203	7796,9	2174
9	Mt 11363	300 / 100	3,0	191	7319,8	2169
10	Mt 11363	300 / 100	3,0	195	7371,8	2140
11	Mt 11363	250 / 50	3,4	188	7380,5	2222
12	Mt 11363	250 / 50	3,1	189	7354,8	2203



Kuva 134. Hienoainespitoisuuden vaikutus sekoitusjyrsityn materiaalin dielektrisyteen.



Kuva 135. Sähkönjohtavuus, näytteet 1- 8.



Kuva 136. Sähkönjohtavuus, näytteet 9-12.

Liite F: Työkohdesuunnitelmat

TYÖKOHDESUUNNITELMA

25.1.2012

URAKKA	UUD 1-3 TP 2012	MAANTIE	11491
KOHTEN NUMERO	313 (E)	KVL	247
KOHTEN NIMI	Mt 11491 UUSIKARTANO-PALOPURO	KUNTA	Hyvinkää

TIERIKESTERIOSOITE	2/7-2/4670	TIEOSAPITUUS	2	4 694
KOHDEPITUUS	4 663 m			
NYKYINEN TIELEVEYS	6,5-7,0 m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTELEVEYS	6,0-6,5 m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTEPAKSUUS	0,04-0,08 m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTE	PAB-V			

HUOMAUTUS	Tien kavennus paaluvälillä 2/7-2/2223, 6,5m/7,0 metristä -> 6,0m/6,5 metrin (pää levitelev.)
-----------	--

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
PÄÄLLYSTEET										
PAB-V 16/100 LTA		2	7	2	2223	2 216	6,0	13 296	m ³ tr	
PAB-V 16/100 LTA		2	2322	2	4522	2 200	6,0	13 200	m ³ tr	
PAB-V 16/100 LTA		2	4545	2	4670	125	6,0	750	m ³ tr	
								27 246	m ³ tr	

PIENALUEET	PAB-V 16/100									
0-50 m ²	39 kpl							290	m ³ tr	
50-150 m ²	0 kpl							0	m ³ tr	
150-500 m ²	0 kpl							0	m ³ tr	
> 500 m ²	0 kpl							0	m ³ tr	
LAP	0 kpl							0	m ³ tr	
								290	m ³ tr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
PIENNARTÄYTTÖ										
o+v		2	7	2	2 223	2 216	0,5	89	m ³ rtr	
o+v		2	2 322	2	4 522	2 200	0,5	88	m ³ rtr	
o+v		2	4 545	2	4 670	125	0,5	5	m ³ rtr	
								182	m ³ rtr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
------------	--------	------	-----	------	-----	--------	--------	-------	-----	------

RAKENTEENPARANTAMISET

MAAKIVEN POISTO										
o+v		2	3 173					2	kpl	
o		2	3 466					1	kpl	
								3	kpl	

MASSANVAIHTO										
1,2 m, kiilat 1:15		2	541	2	577	36		36	m	uudet siirtymäkiilat rumpuun
maaleikkaus		1200 mm						173	m ³ ktr	
suodatinkerros		700 mm						59	m ³ ktr	
jakava ja kantava kerros		500 mm						107	m ³ ktr	

MASSANVAIHTO										
1,0 m, kiilat 1:15		2	961	2	991	30		30	m	uudet siirtymäkiilat rumpuun
maaleikkaus		1000 mm						120	m ³ ktr	
suodatinkerros		500 mm						30	m ³ ktr	
jakava ja kantava kerros		500 mm						85	m ³ ktr	

LISÄMURSKKE JA MUOTOILU										
Kantavan murskeen lisäys 50 mm	2	7	2	747	740	6,5	240,5	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 100 mm	2	747	2	1 086	339	6,5	220,4	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 50 mm	2	1 086	2	1 379	293	6,5	95,2	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 100 mm	2	1 379	2	1 546	167	6,5	108,6	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 50 mm	2	1 546	2	2 223	677	6,5	220,0	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 100 mm	2	2 322	2	2 941	619	6,5	402,4	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 50 mm	2	2 941	2	3 622	681	6,5	221,3	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 100 mm	2	3 622	2	4 478	856	6,5	556,4	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 50 mm	2	4 478	2	4 522	44	6,5	14,3	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
Kantavan murskeen lisäys 50 mm	2	4 545	2	4 670	125	6,5	40,6	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään	
								2 120	m ³ rtr	

SEKOITUSJYRSINTÄ										
Käsittelysyvyys 150mm	2	7	2	747	740	6,5	4 810	m ³ tr		
Käsittelysyvyys 200mm	2	747	2	1 546	799	6,5	5 194	m ³ tr		
Käsittelysyvyys 150mm	2	1 546	2	2 223	677	6,5	4 401	m ³ tr		
Käsittelysyvyys 200mm	2	2 322	2	2 990	668	6,5	4 342	m ³ tr		
Käsittelysyvyys 100mm	2	2 990	2	3 045	55	6,5	358	m ³ tr	kalliokohta	
Käsittelysyvyys 150mm	2	3 045	2	3 622	577	6,5	3 751	m ³ tr		
Käsittelysyvyys 200mm	2	3 622	2	4 522	900	6,5	5 850	m ³ tr		
Käsittelysyvyys 150mm	2	4 545	2	4 670	125	6,5	813	m ³ tr		
								29 517	m ³ tr	

Liite F

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
OJEN PERKAUS										
Sivuojan perkaus	vasen	2	2 288	2	4 522	2 234		2 234	mtr	
Sivuojan perkaus	vasen	2	4 545	2	4 670	125		125	mtr	
Sivuojan perkaus	oikea	2	2 288	2	4 522	2 234		2 234	mtr	
Sivuojan perkaus	oikea	2	4 545	2	4 670	125		125	mtr	
Sivuojan kaivaminen	vasen	2	7	2	2 239	2 232		2 232	mtr	ten kavennus
Sivuojan kaivaminen	oikea	2	7	2	2 239	2 232		2 232	mtr	ten kavennus
								9 182	mtr	
RUMMUT										
Päätierumpu, rummun vaihto, siirtymäkilat 1:15	M400	2	559					8	mtr	rummun pohjan syvyys 1,0 mtr
Päätierumpu, rummun vaihto, siirtymäkilat 1:15	M400	2	976					8	mtr	rummun pohjan syvyys 1,2 mtr
								16	mtr	
PALTEENPOISTO										
	vasen	2	2 150	2	2 240	90		90	mtr	Kaide
								90	mtr	
MUU TYÖ										
Kaiteen oikaisu	vasen	2	1 140	2	1 165	25		25	mtr	
Kaiteen oikaisu	oikea	2	1 145	2	1 190	45		45	mtr	
								70	mtr	
MUU TYÖ										
saarekkeen uusiminen, vanha puretaan		2	7					30	m ² tr	1-osainen, reunakiivi 30jm
								30	m ² tr	
TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
LISÄTIEDOT										

TYÖKOHDESUUNNITELMA

25.1.2012

URAKKA	UUD 1-3 TP 2012	MAANTIE	2846
KOHTEEN NUMERO	307 (E)	KVL	98-413
KOHTEEN NIMI	Mt 2846 Lautaporras-Sillantaka	KUNTA	Hämeenlinna

TIEREKISTERIOSOITE	S/O-S/9420	TIEOSAPITUUS	5	9 420
KOHDEPITUUS	9 420 m			
NYKYINEN TIELEVEYS	7,0 m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTELEVEYS	6,5 m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTEPAKSUUS	50 mm			
NYKYINEN PÄÄLLYSTE	AB/PAB-B			

HUOMAUTUS	
-----------	--

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
PÄÄLLYSTEET										
PAB-B 16/100 MP		5	0	5	9 340	9 340	6,5	60 710	m ² tr	
AB 16/100 MP		5	9 340	5	9 420	80	6,5	520	m ² tr	
								61 230	m ² tr	
PIENALUEET										
0-50 m ²								0	m ² tr	
50-150 m ²								0	m ² tr	
150-500 m ²								0	m ² tr	
> 500 m ²								0	m ² tr	
LAP								0	m ² tr	
								0	m ² tr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
MASSATASAUS										
						0			t	
								0,0	t	
JYRSINTÄ										
						0			0 m ² tr	
									0 m ² tr	
PIENNARTÄYTTÖ										
reunamurske, KaM 0/16	o+v	5	0	5	9 420	9 420	0,5	188	m ³ rtr	0,25 m kummallekin puolelle
								188	m ³ rtr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
------------	--------	------	-----	------	-----	--------	--------	-------	-----	------

RAKENTEEPARANTAMISET

MAAKIVEN POISTO										
Kiven poisto		5	2 060					1	kpl	
Kiven poisto		5	2 145					1	kpl	
Kiven poisto		5	7 855					1	kpl	
								3	kpl	

MASSANVAIHTO										
syvyys 1,2 m, kiilat 1:20		5	2 550	5	2 670	120	8	120	m	pituus sisältää kiilat
maaleikkaus								978	m ³ tr	
suodatinkerros								594	m ³ tr	
jakava ja kantava kerros								384	m ³ tr	
luiskatäytöt									m ³ tr	

LISÄMURSKE JA MUOTOILU										
100 mm, KaM 0/45		5	220	5	390	170	7,0	119,0	m ³ tr	sekoitusjyrsitään; HUOM! Karkeampi mat.
100 mm		5	390	5	4 230	3 840	7,0	2 688,0	m ³ tr	sekoitusjyrsitään
150 mm		5	4 230	5	4 770	540	7,0	567,0	m ³ tr	sekoitusjyrsitään; HUOM! KOKEILUKOHDE
100 mm		5	7 450	5	9 200	1 750	7,0	1 225,0	m ³ tr	sekoitusjyrsitään
								4 599,0	m ³ tr	

SEKOITUSJYRSINTÄ										
käsittelysyvyys 300 mm		5	220	5	4 230	4 010	7,0	28 070	m ³ tr	
SJYR200		5	4 230	5	4 770	540	7,0	3 780	m ³ tr	HUOM! kantava kerros lisätään SJYR päälle!
käsittelysyvyys 300 mm		5	7 450	5	9 200	1 750	7,0	12 250	m ³ tr	
								44 100	m ³ tr	

BITUMISTABILOINTI (BEST, VBST)										
									m ³ tr	
								0	m ³ tr	

TERÄSVERKOT										
									m ² tr	
									m ² tr	
									m ² tr	
									m ² tr	
								0	m ² tr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
------------	--------	------	-----	------	-----	--------	--------	-------	-----	------

OJEN PERKAUS										
Sivuojan perkaus	oikea	5	0	5	30	30		30	mtr	
Sivuojan perkaus	oik+vas	5	990	5	1 965	975		1 950	mtr	
Sivuojan perkaus	oik+vas	5	2 050	5	2 400	350		700	mtr	
Sivuojan perkaus	oikea	5	2 500	5	2 920	420		420	mtr	
Sivuojan perkaus	vasen	5	2 530	5	2 720	190		190	mtr	
Sivuojan perkaus	oik+vas	5	3 530	5	4 020	490		980	mtr	
Sivuojan perkaus	oik+vas	5	4 230	5	4 770	540		1 080	mtr	
Sivuojan perkaus	oikea	5	7 020	5	9 200	2 180		2 180	mtr	
Sivuojan perkaus	vasen	5	7 450	5	9 200	1 750		1 750	mtr	
								9 280	mtr	

RUMMUT										
									0	mtr

KAIVOT										
									0	kpl

PALTEENPOISTO										
									0	mtr

MUU TYÖ										
									0	m ² tr

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
------------	--------	------	-----	------	-----	--------	--------	-------	-----	------

LISÄTIEDOT										

TYÖKOHDESUUNNITELMA

17.1.2012

URAKKA	UUD 1-3 TP 2012	MAANTIE	11363
KOHTEN NUMERO	312	KVL	369
KOHTEN NIMI	Mt 11363 Pakankylä-Röylä	KUNTA	Espoo

TIEREKISTERIOSOITE	1/5-3465	TIEOSAPITUUS	1	3 465
KOHDEPITUUS	3 460 m			
NYKYINEN TIELEVEYS	5,5/6,0 m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTELEVEYS	6,0/7,0 m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTEPAKSUUS	m			
NYKYINEN PÄÄLLYSTE	PAB-V			

HUOMAUTUS	
-----------	--

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
PÄÄLLYSTEET										
PAB-B 16/100 LTA		1	5	1	1 078	1 073	6,0	6 438	m ² tr	
PAB-B 16/100 LTA		1	1 078	1	3 465	2 387	5,5	13 129	m ² tr	
								19 567	m²tr	

PIENALUEET										
0-50 m ²	78							1 402	m ² tr	
50-150 m ²	2							280	m ² tr	
150-500 m ²	1							200	m ² tr	
> 500 m ²								0	m ² tr	
LAP								0	m ² tr	
								1 882	m²tr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
PIENNARTÄYTTÖ										
reunamurske, KaM 0/16	o+v	1	5	1	3 465	3 460	0,5	69	m ³ rtr	0,25 m kummallekin puolelle
								69	m³rtr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
------------	--------	------	-----	------	-----	--------	--------	-------	-----	------

RAKENTEENPARANTAMISET

LISÄMURSKES JA MUOTOILU										
KaM 8/32	50 mm	1	5	1	470	465	6,5	151,1	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään
KaM 8/32	100 mm	1	470	1	1 078	608	6,5	395,2	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään
KaM 8/32	100 mm	1	1 078	1	1 340	262	6,0	157,2	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään
KaM 8/32	50 mm	1	1 340	1	3 465	2 125	6,0	637,5	m ³ rtr	lisämurske sekoitusjyrsintään
								1 341,0	m³rtr	

SEKOITUSJYRSINTÄ										
Kasittelysyvyys 250		1	5	1	470	465	6,5	3 023	m ² tr	
Kasittelysyvyys 300		1	470	1	1 078	608	6,5	3 952	m ² tr	
Kasittelysyvyys 300		1	1 078	1	1 340	262	6,0	1 572	m ² tr	
Kasittelysyvyys 250		1	1 340	1	3 465	2 125	6,0	12 750	m ² tr	
								21 297	m²tr	

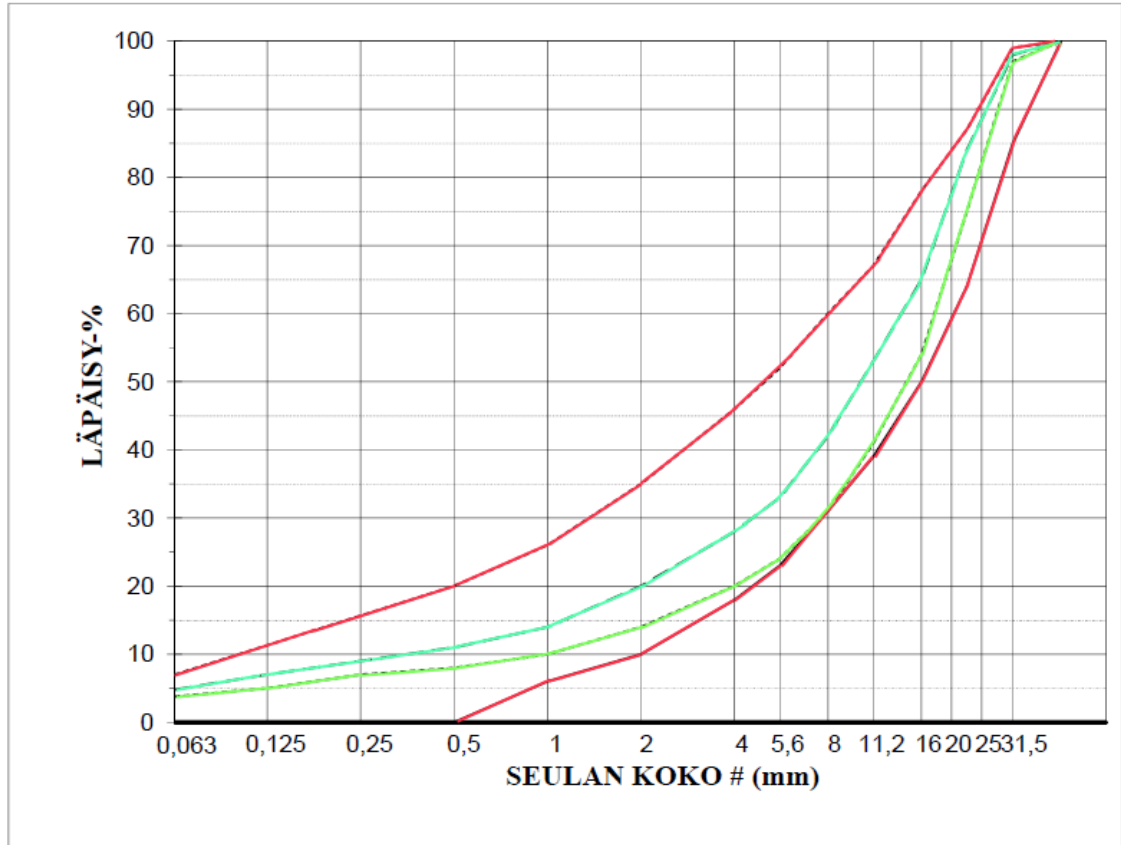
TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
OJEN PERKAUS										
Sivuojan perkaus	o+v	1	5	1	3 465	3 460		6 920	mtr	perkaus+muotoilu
								6 920	mtr	

TOIMENPIDE	Kaista	Aosa	Aet	Losa	Let	pituus	leveys	määrä	yks	Huom
------------	--------	------	-----	------	-----	--------	--------	-------	-----	------

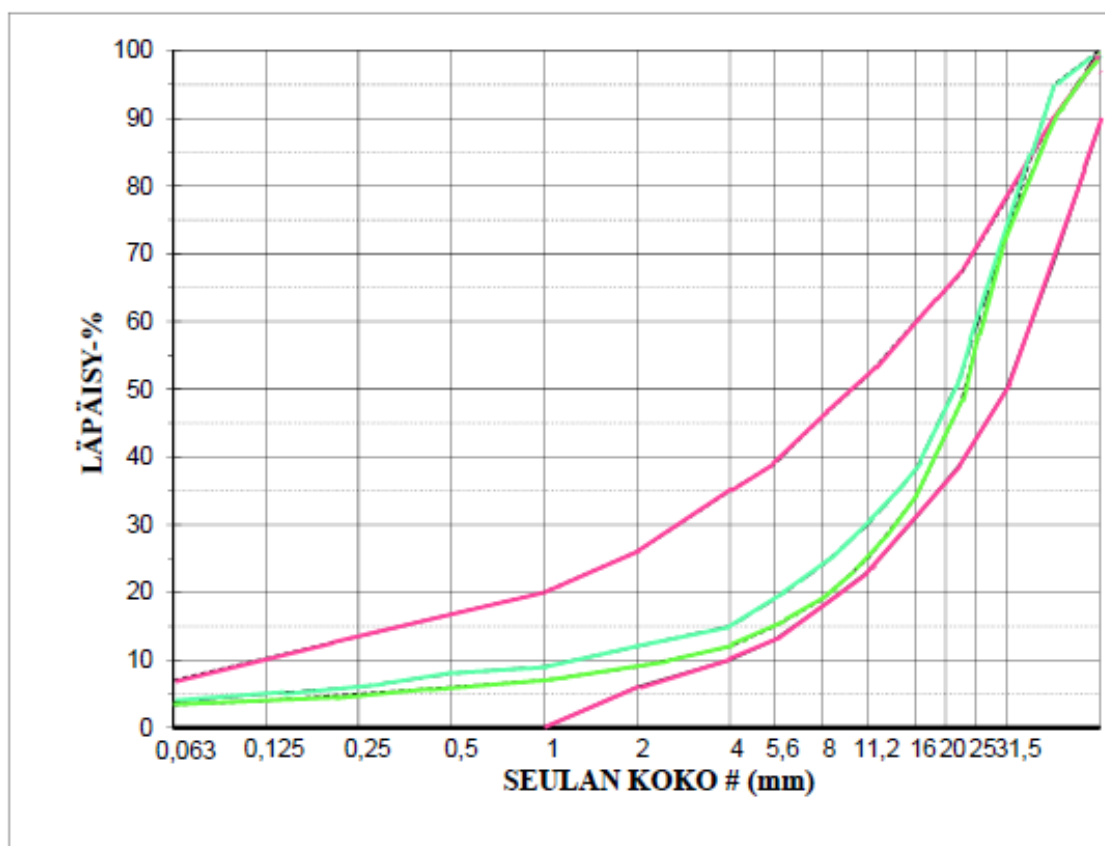
LISÄTIEDOT										

Liite G: Lisämurskeiden rakeisuudet

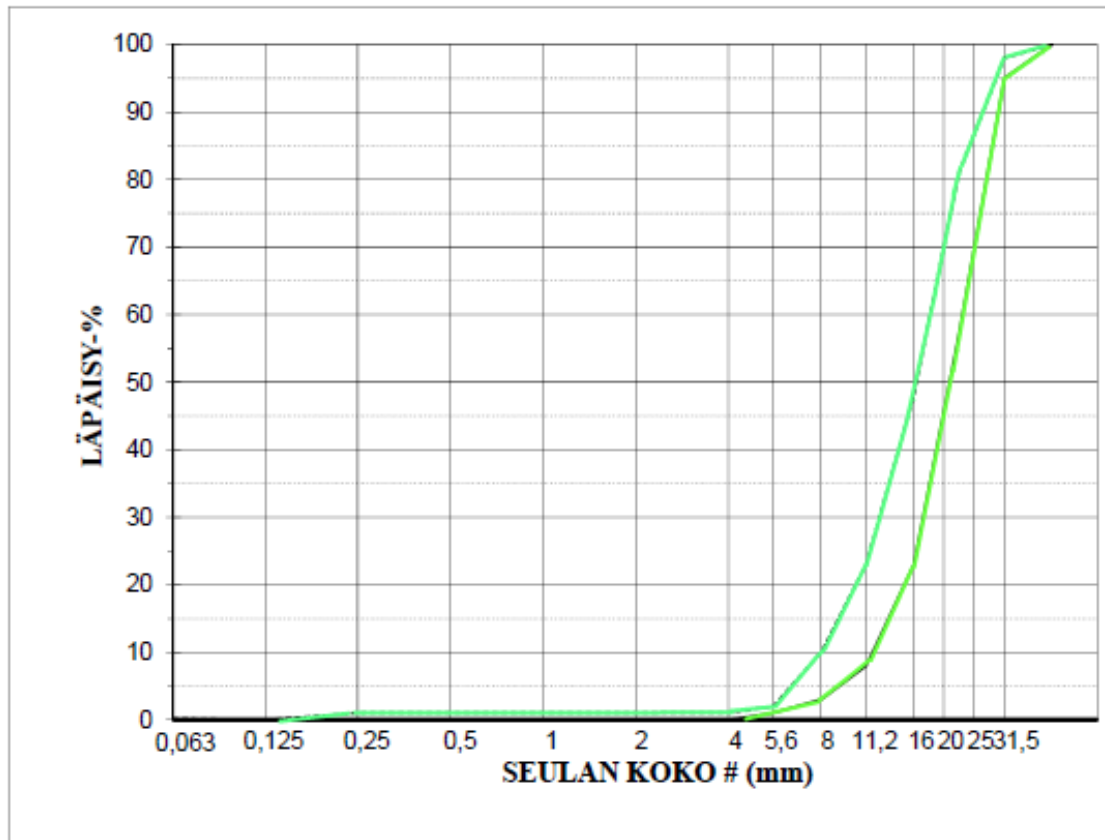
Kuvissa 137-140 on kohteissa käytettyjen lisämurskeiden rakeisuuden vaihteluväliä. Tulokset rakeisuuksista on saatu urakoitsijoilta. Punaisella värillä on rakeisuuden raja-arvot. Vaalean sinisellä ovat lisämurskeen rakeisuuden maksimi-arvot ja vaalean vihreällä rakeisuuden mini-arvot.



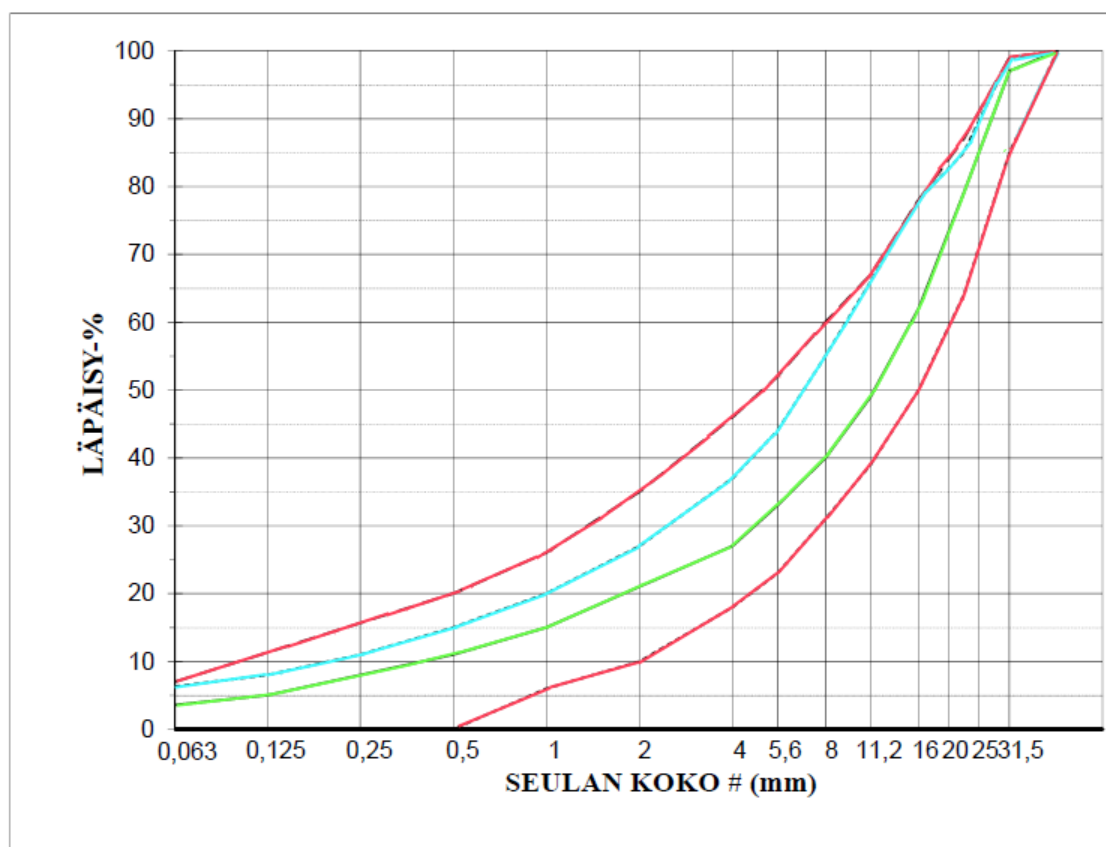
Kuva 137. Lisämurske KaM 0/32, Mt 2846.



Kuva 138. Lisämurske KaM 0/56, mt 2846



Kuva 139. lisämurske 8/32, mt 11363



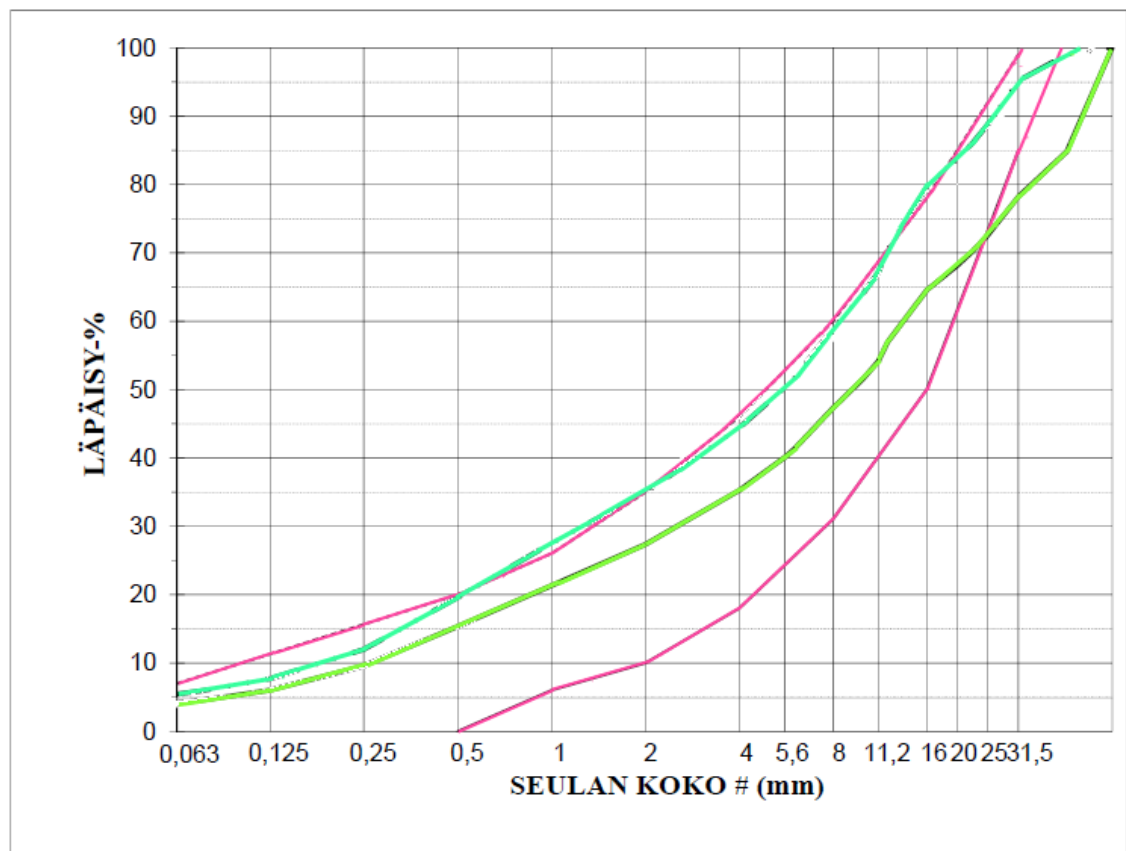
Kuva 140. Lisämurske 0/32, Mt 11491

Liite H: Vanhojen SJYR -kohteiden rakeisuudet

Koni

Taulukko 65. Rakeisuus Koni

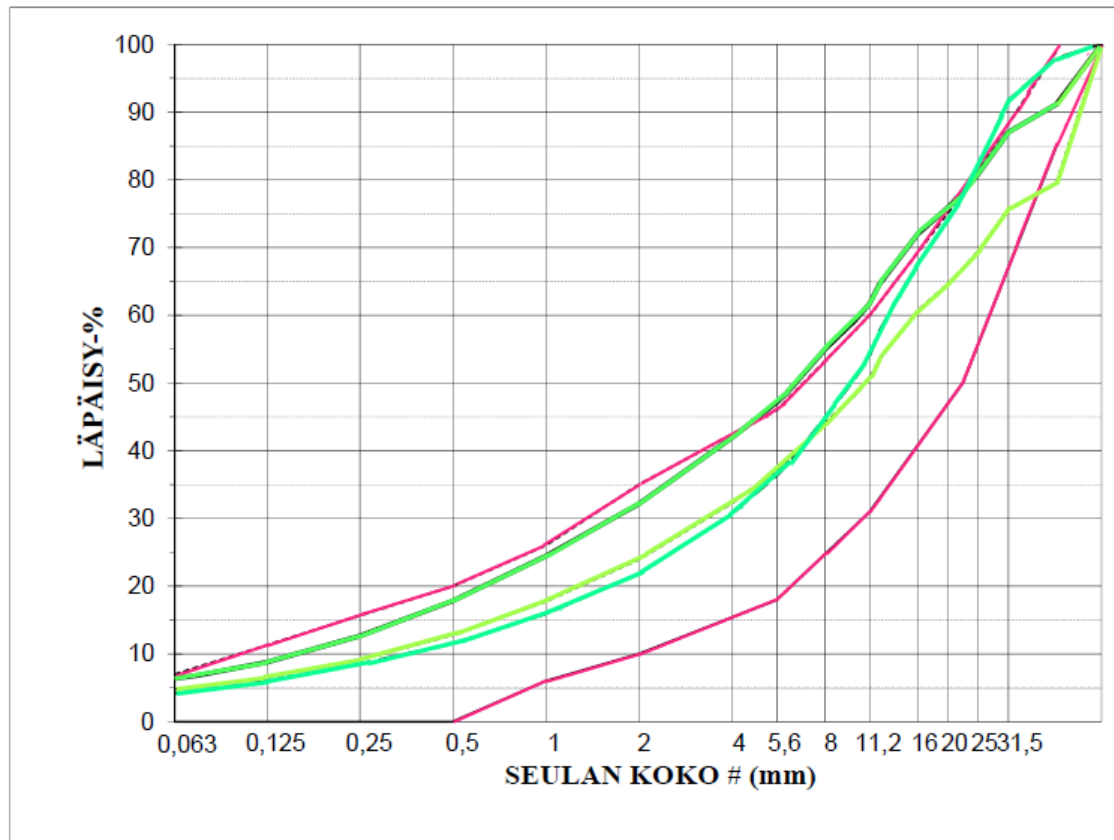
Seula	SJYR jälkeen PL 3000 vasen (RAP%)	SJYR jälkeen PL 3000 kesk. (RAP%)
0,063	4,2	5,5
0,125	6,0	7,7
0,25	9,6	12,0
0,5	15,4	19,6
1	21,3	27,5
2	27,3	34,9
4	35,3	44,4
8	47,3 (43,9)	58,9 (21,1)
16	64,3 (56,7)	79,6 (39,3)
31,5	78,2 (69,5)	95,2 (12,8)
45	84,8 (8,3)	99,0 (0)



Kuva 141. Rakeisuus Koni.

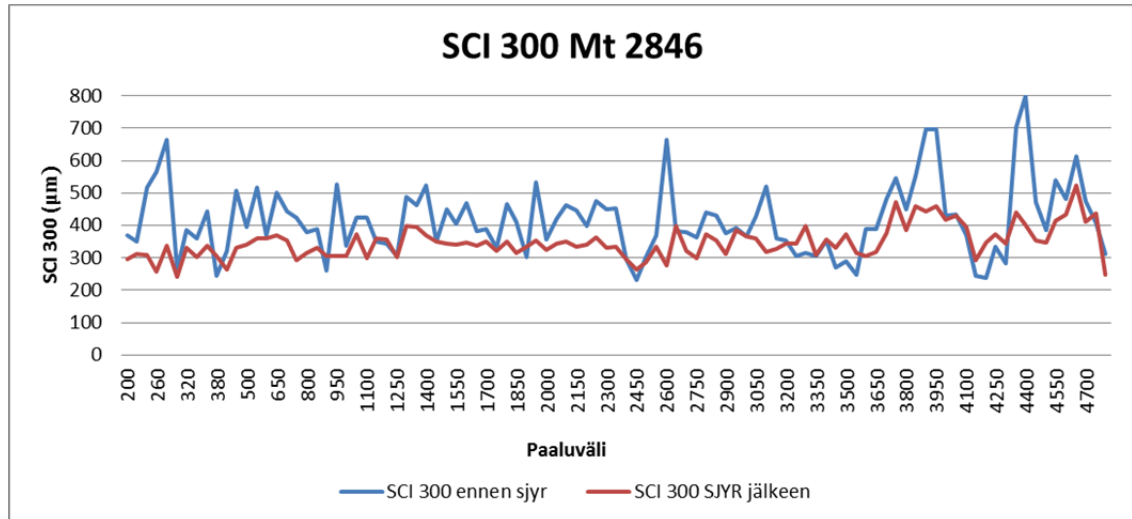
Kirmaranta*Taulukko 66. Rakeisuus Kirmaranta.*

Seula	SJYR jälkeen PL 2300 kesk. (RAP%)	SJYR jälkeen PL 2300 oikea (RAP%)	SJYR jälkeen PL 600 oikea (RAP%)
0,063	6,4	4,8	4,2
0,125	8,8	6,5	6,0
0,25	12,6	9,2	8,5
0,5	17,8	12,8	11,5
1	24,5	17,8	15,9
2	32,1	23,9	21,8
4	41,9	32,3	30,6
8	54,9 (28,9)	44,1 (41,2)	44,8 (18,3)
16	72,0 (19,1)	60,7 (28,2)	67,6 (7,6)
31,5	87,1 (11,8)	75,6 (23,6)	91,8 (0)
45	91,2 (57,8)	79,5 (0)	98,0 (0)

*Kuva 142. Rakeisuus Kirmaranta.*

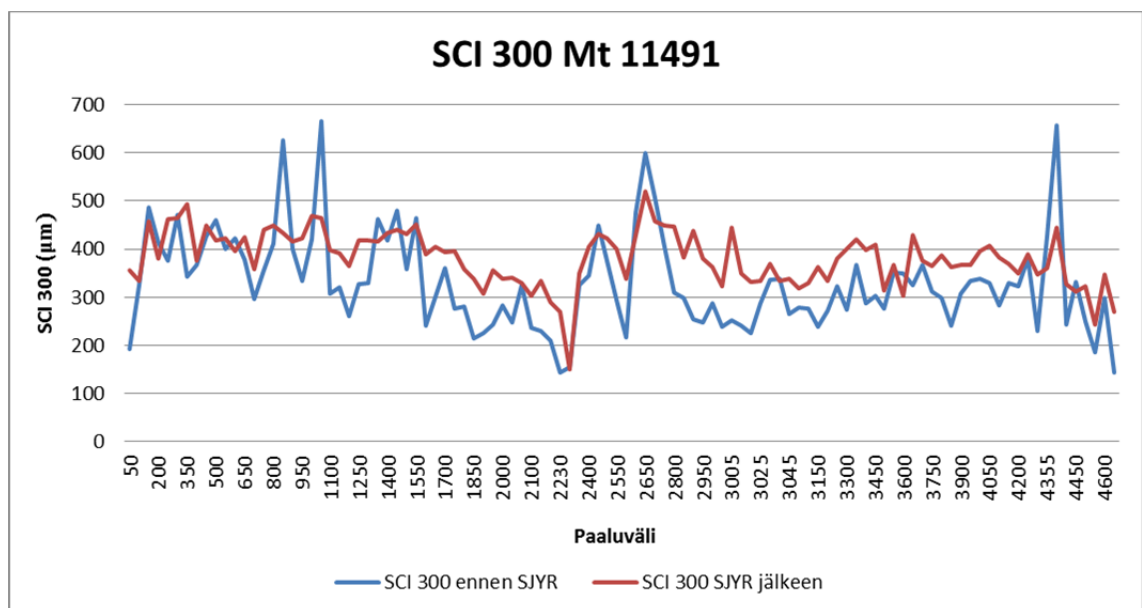
Liite I: SCI 300

SCI 300 (Surface Curvature Index) kuvaa päällysrakenteen yläosan kuntoa. (TPPT) SCI 300 saadaan pudotuspainolaitemittauksista kuormituslevyn alla olevan taipuman ja 300 mm etäisyydellä olevan taipuman erotuksena. Kohteessa Mt 2846 SCI 300 on saanut suurempia ennen sekoitusjyrsintää, mikä kuvastaa sekoitusjyrsinnän parantaneen päällysrakenteen yläosan jäykkyyttä ja kuntoa (Kuva 143).



Kuva 143. SCI 300 Mt 2846.

Hyvinkään kohteessa Mt 11491 SCI 300 sai suurempia arvoja sekoitusjyrsinnän jälkeen, mikä kertoo sekoitusjyrsinnän huonontaneen päällysrakenteen yläosan kuntoa ja jäykkyyttä (Kuva 144). Tulos voi johtua pudotuspainolaitemittauksen liian aikaisesta suoritussajankohdasta, jolloin päällyste ei ollut vielä saavuttanut lopullista jäykkyyttä. Hyvinkään kohteessa oli kohtia, joissa vanha päällysteen paksuus oli suurempi kuin sekoitusjyrsinnän jälkeen, mikä selittää sekoitusjyrsinnän negatiiviset vaikutukset päällysrakenteen yläosan kuntoon.



Kuva 144. SCI 300 Mt 11491.

Liite J: Rakenteen parantamistoimenpiteiden kustannukset

Taulukossa 67 on rakenteen parantamistoimenpiteiden kustannukset vähäliikenteisillä teillä. Kustannukset ovat Tiehallinnon julkaisusta: Vähäliikenteisten teiden hoidon, ylläpidon ja korvausinvestointien kustannukset. Julkaisu on tehty 2004 vuonna, jolloin sekoitusjyrsintää tilastoitiin murskeenlisäämisenä.

Taulukko 67. Rakenteen parantamistoimenpiteiden hinnat vähäliikenteisellä tiellä. (Tiehallinto 2004e)

Toimenpide	Keskiarvo (1000 €/km)	Vaihteluväli (1000 €/km)	Kohteiden lkm (kpl)
AB 100-125 kg/m ² + MS/SJYR 15-20 cm	76	36-146	6
PAB 100 kg/m ² + MS/SJYR < 10 cm	26	19-45	10
PAB 100 kg/m ² + MS/SJYR 10-15 cm	32	16-73	118
PAB 100 kg/m ² + MS/SJYR > 20 cm	42	16-74	41
PAB 100 kg/m ² + MHST 15-20 cm	41	35-96	11
PAB 90-100 kg/m ² + VBST 10-15 cm	43	31-62	7
PAB 100 kg/m ² + REST 8-15 cm	33	27-47	7
PAB 90-100 kg/m ² + ABK 90-100 kg/m ²	66	29-89	24
PAB 90-100 kg/m ² + ABK 100 kg/m ² + teräsverkko	85	71-106	4
PAB 100 kg/m ² + TAS 80-100 kg/m ² + teräsverkko	72	67-89	3
SIP/SOP + MS/SJYR 10-15 cm	18	12-31	23

Liite K: Rakenteen parantamistoimenpiteiden vaikutukset tien kantavuuteen

Erilaisten rakenteen parantamistoimenpiteiden vaikutukset tien kantavuuteen on taulukossa 68. Alkuperäinen taulukko on julkaistu Tiehallinnon julkaisussa: Rakenteen parantamisen suunnittelu. Taulukosta voidaan huomata sekoitusjyrsinnän laskevan tien kantavuutta, kun vanhan päällysteen paksuus on suuri. Taulukon tietojen laskennassa sitomattoman materiaalin moduuliksi on oletettu 200 MPa. Toimenpiteen edessä on sen paksuus mm. (Tiehallinto 2005f.)

Taulukko 68. Laskennallinen kantavuuden muutos erilaisilla rakenteen parantamistoimenpiteillä. (Tiehallinto 2005F)

Toimenpide	Vanhan päällysteen moduuli, MPa					
	800 (rikkonainen PAB)		1400 (ehjä PAB tai rikkonainen AB)			2500 (ehjä AB)
	Vanhn päällysteen paksuus, mm					
	40		40		70	70
	Kevätkantavuus vanhan päällysteen päältä, MPa					
	80	140	80	140	140	140
	Laskennallinen kantavuuden muutos, MPa					
	40PAB-V (vanha pääll. Rikk.)	14	17	14	17	17
40PAB-V (vanha pääll. Ehjä)			31	39	42	43
40PAB-B (vanha pääll. Rikk.)	16	19	16	19	19	
40PAB-B (vanha pääll. Ehjä)			34	42	45	45
40AB (vanha pääll. Rikk.)	20	25	20	25	25	
40AB (vanha pääll. Ehjä)			41	52	55	52
50AB (vanha pääll. Rikk.)	30	37	30	37	37	
50 AB (vanha pääll. Ehjä)			50	67	69	66
150SJYR + 40PAB-V	14	14	4	9	-9	-22
150SJYR+ 50AB	30	34	19	29	9	-5
150SJYR +50SEP+ 40PAB-V	36	48	14	43	23	7
150SJYR+50M+40PAB-V	25	22	14	18	0	-13
150SJYR+ 50M+50AB	42	43	29	38	19	6
150SJYR+ 200M+40PAB-V	73	67	65	63	50	38
150VBST2(1050)+40PAB-V	56	98	38	90	60	38
150MHST2(1200) +40PAB-V	56	108	38	99	67	38
130KOST2(1250)+40PAB-V	55	93	38	85	56	36
180KOST2(1250)+ 40PAB-V	74	134	53	125	88	59